



**СТИВЕН
ХОКИНГ**

**Черные дыры
и молодые вселенные**



Санкт-Петербург
АМФОРА / ЗВРИКА
2001

УДК 53(023)
ББК 22(4Вл)
X 70

STEPHEN HAWKING
Black Holes and Baby Universes
and Other Essays

Перевод с английского М. В. Кононова

Рецензент

кандидат физико-математических наук Н. Р. Галль

Дизайн Вадима Назарова
Оформление Алексея Горбачёва

*Издательство выражает благодарность литературному
агентству «Synopsis» за содействие в приобретении прав*

*Защиту интеллектуальной собственности
и прав издательской группы «Амфора»
осуществляет юридическая компания
«Усков и партнеры»*



Хокинг С.

X 70 Черные дыры и молодые вселенные / Пер. с
англ. М. Кононова. — СПб.: Амфора, 2001. — 189 с.

ISBN 5-94278-166-4

Книга представляет собой сборник статей выдающегося физика современности Стивена Хокинга, написанных им в период с 1976 по 1992 год. Это и автобиографические очерки, и размышления автора о философии науки, о происхождении Вселенной и ее дальнейшей судьбе. Эссе написаны ярко и увлекательно, серьезнейшие проблемы науки, отраженные в них, в изложении Хокинга доступны пониманию каждого читателя.

© 1993 by Stephen Hawking
© М. Кононов, перевод, 2001
© «Амфора», подготовка текста,
оформление, 2001

ISBN 5-94278-166-4

ВВЕДЕНИЕ

Эта книга представляет собой сборник статей — от автобиографических очерков до размышлений о философии науки, — написанных мною в период с 1976 по 1992 год в попытках объяснить тот жгучий интерес, который я испытывал к науке и Вселенной. Книга завершается стенограммой передачи «Диски необитаемого острова», где я рассказываю о себе. В Великобритании есть такая программа: гостю предлагают представить себя на необитаемом острове и просят выбрать восемь музыкальных дисков, с которыми он предпочел бы коротать время до своего вызволения. К счастью, мне не пришлось слишком долго ждать возвращения к цивилизации.

Статьи были написаны в течение шестнадцати лет и отражают уровень моих знаний на то время, — надеюсь, с годами они возросли, поэтому я снабдил каждую статью датой и пояснением, по какому случаю она появилась. Все они создавались как законченные произведения, и потому от повторений никуда не деться. Я постарался уменьшить их количество, но кое-что все равно осталось.

Множество статей этой книги предназначались для устного изложения. Мое произношение всегда было нечетким, так что мне приходилось передавать проведение лекций и семинаров другим — как правило, кому-

нибудь из моих практикантов, тому, кто хорошо меня понимал, а текст озвучивал лучше. Однако в 1985 году, после операции, я совсем утратил способность говорить и на некоторое время остался безо всяких средств общения. В конце концов я вооружился компьютерной системой и замечательным речевым синтезатором. К своему удивлению, я обнаружил в себе способности выступать перед большой аудиторией. Мне нравилось объяснять научные теории и отвечать на вопросы. Конечно, еще нужно учиться и учиться, чтобы совершенствовать эти способности, но надеюсь, я делаю успехи — о чем можете судить сами, читая эти страницы.

Я не согласен с мнением, что Вселенная — это загадка, нечто не поддающееся пониманию и анализу, то, о чем можно получить лишь интуитивное представление. Я чувствую, что такое воззрение несправедливо по отношению к научной революции во всех областях мироздания, начатой почти четыреста лет назад Галилеем и продолженной Ньютоном. Эти двое показали, что по крайней мере некоторые части Вселенной ведут себя не произвольным образом, а подчиняются точным математическим законам. За прошедшие годы мы распространили результаты Галилея и Ньютона почти на все области. Теперь у нас есть математические законы, управляющие всем, с чем мы обычно сталкиваемся. И мерилом нашего успеха является факт расходования миллиардов фунтов на постройку гигантских машин, разгоняющих частицы до такой высокой энергии, что мы еще не знаем, к чему приведет их столкновение. Частицы с такой высокой энергией не встречаются на Земле в обычных условиях, поэтому огромные затраты на их исследования могут показаться

чисто академическими и не очень нужными. Но такие частицы могли встречаться, когда Вселенная была молодой, и потому, если мы хотим понять, как она возникла, то должны выяснить, что происходит при этих энергиях.

Мы еще очень многого не знаем о Вселенной, многого не понимаем. Но уже достигнутый нами прогресс, в частности за последние сто лет, должен воодушевить нас и придать уверенности в том, что полное понимание — в границах возможного. Думаю, мы не обречены вечно бродить на ощупь в темноте. Совершив рывок к созданию полной теории Вселенной, мы станем ее истинными хозяевами.

Научные статьи этой книги были написаны в надежде, что Вселенная подчиняется какому-то порядку, который сейчас мы можем постигнуть отчасти, а полностью — не в таком уж далеком будущем. Возможно, эта надежда всего лишь мираж; возможно, никакой окончательной теории нет, а даже если и есть, мы можем никогда ее не узнать. Но, несомненно, лучше стремиться к полному пониманию, чем отчаяться в человеческом разуме.

Стивен Хокинг
31 марта 1993 г.

Я родился 8 января 1942 года, ровно через триста лет после смерти Галилея. Однако, по моим оценкам, в этот день родилось еще двести тысяч детей. Не знаю, заинтересовался ли астрономией кто-либо из них. Я появился на свет в Оксфорде, хотя мои родители жили в Лондоне. Так вышло потому, что во время Второй мировой войны Оксфорд был хорошим местом для рождения: немцы согласились не бомбить Оксфорд и Кембридж при условии, что англичане не будут бомбить Гейдельберг и Гёттинген. Жаль, что такое цивилизованное соглашение не распространялось на другие города.

Мой отец был родом из Йоркшира. Его дед, мой прадед, был зажиточным фермером. Он купил слишком много ферм и обанкротился во время депрессии в сельском хозяйстве в начале XX века. Это поставило родителей моего отца в очень затруднительное положение, но им все же удалось послать сына в Оксфорд изучать медицину. Позже он занялся исследованиями в области тропических болезней и в 1937 году уехал в Восточную Африку, а когда началась война, совер-

* Это и следующее эссе основаны на докладе, который я сделал в Международном обществе нейромоторных заболеваний в Цюрихе в сентябре 1987 г.; они дополнены материалами, написанными в августе 1991 г.

шил поездку через весь континент, чтобы на корабле вернуться в Англию и пойти добровольцем в армию. Однако отцу сказали, что бóльшую ценность он представляет, занимаясь медицинскими исследованиями.

Моя мать родилась в Глазго, в семье врача, где была вторым ребенком из семи. Когда ей было двенадцать лет, они переехали на юг, в Девон. Как и семья моего отца, семья матери не очень преуспевала. Тем не менее родители смогли послать дочь в Оксфорд. По окончании Оксфорда она сменила много разных мест работы, в том числе была налоговым инспектором, что ей очень не нравилось. Эту должность она оставила, чтобы стать секретаршей, и в таком качестве в первые годы войны встретила моего отца.

Мы жили в Хайгейте, на севере Лондона. Моя сестра Мэри родилась через восемнадцать месяцев после меня. Говорят, я не приветствовал ее появление. Все детские годы между нами были определенные трения, подпитываемые незначительной разницей в возрасте. Однако во взрослой жизни эти трения исчезли, поскольку каждый из нас пошел своим путем. Мэри стала врачом, чем порадовала отца. А младшая сестренка Филиппа родилась, когда мне было около пяти лет и я уже понимал происходящее. Помню, что я с радостью ожидал ее появления, чтобы можно было играть троим. Филиппа была очень впечатлительным и восприимчивым ребенком. Я всегда с уважением относился к ее суждениям и мнениям. Мой брат Эдвард появился много позже, когда мне было четырнадцать, поэтому он не вошел в мои детские воспоминания. Эдвард сильно отличался от нас троих: в нем не было ни капли академичности, и он не был интеллектуалом. Возможно, это оказалось и к лучшему. Эдвард

был довольно трудным ребенком, что не помешало ему стать всеобщим любимцем.

Мои самые ранние воспоминания — как я остался в яслях Байрон-Хауза в Хайгейте и оглушительно ревел. Мне казалось, что все дети вокруг играют в какие-то чудесные игрушки. Я тоже хотел поиграть с ними, но мне было всего полтора года и меня впервые оставили с незнакомыми людьми. Думаю, родители слегка удивились моей реакции, потому что я был их первым ребенком и они следовали книжкам по воспитанию детей, а там было написано, что детям следует начинать социальное общение в два года. Но после того жуткого утра меня забрали и еще полтора года не отдавали в Байрон-Хауз.

Тогда, во время войны и сразу после нее, Хайгейт был районом, где жил академический и научный народ. В другой стране их бы назвали интеллектуалами, но англичане не допускают, что и у них есть интеллектуалы. Все эти родители посылали детей в школу Байрон-Хауз, очень прогрессивную для того времени. Помню жалобы на моих родителей, что они ничему меня не учат. Они не верили в принятый тогда способ вдалбливания знаний, а старались научить читать исподволь, чтобы ты и не понимал, что тебя чему-то учат. В конце концов читать я все же научился, но только в довольно зрелом, восьмилетнем возрасте. Мою сестру учили более традиционными методами, и она умела читать уже к четырем годам. Впрочем, она была определенно способнее меня.

Мы жили в высоком и узком доме викторианской эпохи, который мои родители купили по дешевке во время войны, когда все думали, что бомбежки сровняют Лондон с землей. И в самом деле, в несколько до-

мов по соседству попали ракеты «Фау-2». В это время меня с матерью и сестрой не было, но отец находился дома. К счастью, он не пострадал, и дом тоже серьезно не повредило. Но еще несколько лет неподалеку оставались развалины, где мы часто играли с моим другом Говардом, жившим через дом от нас, чуть подальше от этих развалин. Говард стал для меня открытием, потому что его родители не были интеллектуалами, в отличие от родителей всех остальных моих знакомых детей. Он ходил в муниципальную школу, а не в Байрон-Хауз и разбирался в футболе и боксе — видах спорта, интересоваться которыми моим родителям и в голову не могло прийти.

Другое раннее воспоминание — игрушечная железная дорога. Игрушки во время войны не выпускались — по крайней мере, для продажи в частные руки. Но игрушечные поезда были моей страстью. Отец попробовал сделать мне деревянный поезд, но меня это не удовлетворило, потому что хотелось что-то работающее. Тогда отец купил подержанный заводной поезд, при помощи паяльника починил его и подарил мне, трехлетнему карапузу, на Рождество. Тот поезд не очень-то хорошо работал. Но сразу после войны отец съездил в Америку и, вернувшись на «Куин Мэри», привез матери несколько нейлоновых вещей, в то время недоступных в Великобритании, сестре Мэри — куклу, которая закрывала глаза, когда ее укладывали, а мне — американскую игрушечную железную дорогу с рельсами в виде восьмерки. У паровозика был даже отбрасыватель — железная решетка спереди. До сих пор помню свой восторг, когда я открыл коробку.

Заводные поезда были прекрасны, но чего мне действительно не хватало — так это электрической железной

дороги. В конце концов, потихоньку от родителей, я взял из Почтового банка весь свой скромный капитал, накопленный из сумм, подаренных мне по особым случаям вроде крестин, и потратил эти деньги на электрическую железную дорогу. Однако, к моему большому разочарованию, работала она не слишком хорошо. Теперь, когда мы знаем о правах потребителя, я бы вернул покупку обратно и потребовал от магазина или от производителя замены, но в те годы считалось удачей купить хоть что-то, а если попался брак — что ж: значит, вам не повезло. Поэтому я заплатил еще и за починку электромотора в паровозике, но он так и не заработал как следует.

Позже, уже на втором десятке лет, я делал модели аэропланов и кораблей. Особым мастерством я никогда не отличался, но мне помогал мой школьный товарищ Джон Мак-Кленан, более умелый, к тому же у его отца в доме была мастерская. Я всегда стремился делать работающие модели, которыми можно было бы управлять, а их внешний вид меня не заботил. Думаю, это и привело меня вместе с другим моим школьным товарищем, Роджером Фернихоком, к изобретению целого ряда очень сложных игр. Например, у нас была такая «промышленная» игра: заводы производили разноцветные детали, для перевозки которых прокладывались шоссе и железные дороги, и к тому же была еще фондовая биржа. А еще игра в войну, в которую играли на доске с четырьмя тысячами клеток, и «феодалная» игра, где каждый игрок представлял целую династию с генеалогическим деревом. Думаю, эти игры, так же как железные дороги, корабли и аэропланы, рождались из моего стремления понять, как что работает и как этим управлять. Когда я начал свою

диссертацию, это стремление помогло мне в исследованиях в области космологии. Если понимаешь, как устроена Вселенная, то некоторым образом можешь ею управлять.

В 1950 году учреждение, где работал мой отец, переехало из Хэмпстеда, неподалеку от Хайгейта, в заново построенный Национальный институт медицинских исследований в Милл-Хилле, на северной окраине Лондона. Чем ездить туда из Хайгейта, казалось разумнее переехать из Лондона за город. Поэтому мои родители купили дом неподалеку от собора в Сент-Олбансе — городке милях в десяти к северу от Милл-Хилла и в двадцати милях от самого Лондона. Это был просторный дом викторианской эпохи, довольно изящный и оригинальный. У родителей тогда не было лишних денег, и им пришлось над ним немало потрудиться, прежде чем мы смогли туда переехать. Позже мой отец, как потомственный йоркширец, отказался платить за дальнейший ремонт, а лишь старался поддерживать здание таким, как есть, и иногда подкрашивать. Дом был велик, а отец не отличался большим умением в подобных работах, однако здание было построено прочно и выдержало такое небрежное отношение. Родители продали его в 1985 году, когда отец серьезно заболел (он умер в 1986-м). Недавно я видел этот дом. Похоже, никто его больше не ремонтировал, но внешне он почти не изменился.

Дом был рассчитан на семью с прислугой, и на панели рядом с кухней можно было увидеть, из какой комнаты позвонили. Конечно, прислуги у нас не было, но моя первая спальня располагалась в комнате, по форме напоминавшей букву «Г». Наверное, в ней раньше жили горничные. Я поделился своим предположением с

двоюродной сестрой Сарой, которая была чуть старше меня и которую я обожал. Она сказала, что нам будет здорово на новом месте. Одним из преимуществ той комнаты была возможность вылезать через окно на крышу сарая, где держали велосипеды, а оттуда спрыгивать на землю.

Сара была дочерью Джанет, старшей сестры моей матери. Джанет выучилась на врача и вышла замуж за психоаналитика. Они жили в похожем доме в Харпендене — деревне в пяти милях к северу. Отчасти потому мы и поселились в Сент-Олбансе. Я был рад оказаться рядом с Сарой и часто ездил на автобусе в Харпенден. Сам Сент-Олбанс располагался неподалеку от развалин древнеримского города Веруламиум, который когда-то являлся самым значительным после Лондона римским поселением в Британии. В Средние века там находился самый богатый в Британии монастырь. Его построили на месте Сент-Олбанских мощей — гробницы римского центуриона, который, по преданию, был первым человеком в Британии, казненным за христианскую веру. Все, что осталось от того аббатства, — огромная и довольно безобразная церковь да старые пристройки к монастырским воротам, где теперь располагается часть сент-олбанской школы, в которую я позже ходил.

Сент-Олбанс был довольно дремучим и консервативным местом по сравнению с Хайгейтом и Харпенденом. Мои родители ни с кем там не подружились — отчасти по собственной вине, поскольку от природы были нелюдимы, особенно отец, — но свою роль сыграло и то, что Сент-Олбанс населяли люди совсем другого сорта: никого из родителей моих школьных друзей нельзя было назвать интеллектуалами.

В Хайгейте наша семья казалась вполне нормальной, но в Сент-Олбансе, думаю, нас определенно считали чужаками. Этому способствовало и поведение моего отца, который совершенно не заботился о внешности, если это позволяло сэкономить деньги. В молодости он жил в очень бедной семье, что оставило свой отпечаток. Отец терпеть не мог тратить деньги на собственный комфорт даже потом, когда мог себе это позволить. Он отказывался установить центральное отопление, хотя страшно мерз, а вместо этого надевал несколько свитеров и поверх них халат. Тем не менее по отношению к другим он был очень щедр.

В пятидесятые годы ему казалось, что мы не можем позволить себе новый автомобиль, и потому он купил довоенное лондонское такси; вместе с отцом мы собрали металлический гараж. Соседи негодовали, но ничего не могли поделать. Как большинство мальчишек, я чувствовал потребность быть как все и стеснялся родителей. Но никогда не досаждал им.

Когда мы впервые приехали в Сент-Олбанс, меня отдали в школу для девочек, куда, несмотря на ее название, принимали мальчиков до десяти лет. Прошел семестр, и отец отправился в одну из своих ежегодных поездок в Африку, в этот раз на более продолжительное время, почти на четыре месяца. Чтобы не чувствовать себя брошенной, мать взяла нас с сестрами к своей школьной подруге Берил, вышедшей замуж за поэта Роберта Грейвса. Они жили в деревне Дея на испанском острове Майорка. После войны прошло всего пять лет, и испанский диктатор Франсиско Франко, бывший союзник Гитлера и Муссолини, еще был у власти. (Вообще-то он оставался у власти еще двадцать лет.) Тем не менее моя мать, до войны состоявшая

в Лиге молодых коммунистов, с тремя детьми отправилась поездом и пароходом на Майорку. В Дее мы сняли дом и прекрасно проводили там время. Меня с сестрами отдали на попечение Уильяму, воспитателю сына Роберта. Это был протеже Грейвса, и его больше занимало написание сценариев для Эдинбургского фестиваля, чем наше обучение. Поэтому он каждый день заставлял нас читать какую-нибудь главу из Библии и писать по ней сочинение. Цель была — преподать нам красоту английского языка. До моего отъезда мы прошли все Бытие и часть Исхода. Из этого обучения я постиг, пожалуй, одно: нельзя начинать предложение с союза «и». Но когда я заметил, что в Библии большинство предложений именно так и начинается, мне сказали, что со времен короля Якова* английский язык сильно изменился. В таком случае, возразил я, зачем же нам читать Библию? Но все доводы были напрасны. В то время Роберт Грейвс увлекался символизмом и мистицизмом в Библии.

Когда я вернулся с Майорки, меня на год отдали в другую школу, а потом я прошел так называемый экзамен «одиннадцать-плюс». Это был тест интеллектуальных способностей для тех, кто хотел получить государственное образование. Теперь этот тест отменен, в основном из-за того, что множество детей из среднего класса проваливались на нем и их отдавали в неакадемические школы. Но тесты и экзамены я всегда сдавал лучше, чем учился в течение года, так что успешно

* Имеется в виду король Яков I Стюарт (1566–1625), при котором был опубликован перевод Библии на английский язык. — *Примеч. пер.*

прошел и этот и получил бесплатное место в местной сент-олбансской школе.

Когда мне исполнилось тринадцать, отец решил попробовать отдать меня в Вестминстерскую школу, одну из самых привилегированных, то есть частных, школ. В то время образование четко разделялось по классовому принципу. Отец считал, что его неумение вести себя и отсутствие связей не позволили ему взять верх над людьми не такими одаренными, но стоящими на более высокой ступени в обществе. Поскольку мои родители были не очень богаты, мне приходилось бороться за свое образование. Однако экзамены я проболев и потому остался в сент-олбансской школе, где получил образование не хуже, если не лучше, чем получил бы в Вестминстере. Отсутствие же светскости меня никогда не затрудняло.

Английское образование в то время имело строгую иерархическую структуру. Школы не только разделялись на академические и неакадемические, но и академические делились на потоки А, В и С. Это давало преимущество учащимся потока А над учащимися потока В, а те, кто учился на С, вообще чувствовали себя ущемленными. По результатам экзамена «одиннадцать-плюс» меня приняли на поток А, но по истечении года всех в классе, кто не вошел в первую двадчатку, перевели на поток В. Это был страшный удар по самолюбию, от которого некоторые так и не оправались. В мои первые два семестра в Сент-Олбансе я был по успеваемости двадцать четвертым и двадцать третьим, но в третьем семестре оказался восемнадцатым и избежал этой участи.

В классе я всегда был середнячком (это был очень способный класс). Тетради у меня были страшно неак-

куратными, а почерк приводил учителей в отчаяние. Но одноклассники прозвали меня Эйнштейном — наверное, чувствовали какие-то задатки. Когда мне исполнилось двенадцать, один из моих друзей поспорил с другим на мешок конфет, что из меня ничего не выйдет. Не знаю, разрешился ли когда-нибудь этот спор и в чью пользу.

У меня было шесть-семь близких друзей, и с большинством из них я по-прежнему поддерживаю контакт. Мы часто подолгу спорили на самые разные темы — от радиоуправляемых моделей до религии и от парапсихологии до физики. Одна из тем касалась природы Вселенной и вопроса о том, нужен ли был Бог для ее создания и приведения в движение. Я слышал, что свет от удаленных галактик смещается к красному краю спектра, и это якобы означало, что Вселенная расширяется (а смещение к синему краю свидетельствовало бы о ее сжатии). Но я не сомневался, что для смещения к красному краю существует другая причина. Может быть, свет просто уставал и оттого краснел по пути к нам. Неизменность и вечность основ Вселенной казались гораздо более естественными. Только через пару лет работы над диссертацией я понял свое заблуждение.

В последние два года моей учебы в школе я решил специализироваться в математике и физике. У нас был просто одержимый учитель математики, мистер Тахта, а в школе только что отстроили новый кабинет математики, где мы и размещались. Мой отец был против. Он думал, что математик сможет работать только учителем. А ему очень хотелось, чтобы я занялся медициной. Я же не проявлял к биологии ни малейшего интереса. Она казалась мне слишком описательной

и недостаточно фундаментальной. К тому же в школе биология не считалась престижной. Самые способные ребята занимались физикой и математикой, а биологией — менее одаренные. Отец знал, что биолога из меня не выйдет, но заставлял серьезно учить химию, а математику лишь чуть-чуть. Он считал, что с выбором научных предпочтений не нужно торопиться. Теперь я профессор математики, но так и не получил никакого формального математического образования с тех пор, как в семнадцать лет окончил сент-олбанскую школу. Все мои математические знания я нахватал между делом. Я частенько курировал кембриджских студентов последнего курса и осваивал лекции всего за неделю до них.

Отец по долгу службы исследовал тропические болезни и часто брал меня с собой в лабораторию в Милл-Хилле. Мне это нравилось — особенно смотреть в микроскоп. Он часто водил меня в помещение с насекомыми, где держал mosquitos, инфицированных тропическими болезнями. Там мне всегда было тревожно, так как казалось, что несколько mosquitos летают на свободе. Отец был очень трудолюбив и предан своим исследованиям, но всегда был готов повздорить, так как ему казалось, что другие, менее подготовленные, но имевшие соответствующее родство и связи, могут обойти его. Он предостерегал меня от таких людей, но я думал, что физика несколько отличается от медицины. Не важно, в какую школу ты ходил или чей ты родственник, — важно, что ты делаешь.

Меня всегда очень интересовало, как что работает, и я часто разбирал всякие механизмы, чтобы посмотреть, как они устроены, но собрать их снова уже не мог. Практические способности у меня всегда отставали от

теоретических. Отец поощрял мой интерес к науке и даже натаскивал меня по математике, пока я не превзошел его. Вот с таким багажом, да еще учитывая работу отца, мне казалось естественным заняться научными исследованиями. В детстве я не видел разницы между науками, но в тринадцать-четырнадцать лет понял, что хочу заниматься физикой, поскольку из всех наук это самая фундаментальная. И это несмотря на то, что в школе физика была самым скучным предметом, поскольку все в ней казалось легким и очевидным. Химия представлялась куда веселее, так как предполагала всякие происшествия, вроде взрывов. Но физика и астрономия давали надежду понять, откуда мы взялись и почему мы здесь. Мне хотелось погрузиться в отдаленные глубины Вселенной. Возможно, до какой-то степени мне это удалось, но еще так много всего хочется узнать.

ОКСФОРД И КЕМБРИДЖ

Мой отец очень хотел, чтобы я поступил в Оксфорд или Кембридж. Сам он учился в Университи-колледже в Оксфорде и потому думал, что мне тоже стоит пойти туда, так как у меня больше шансов поступить. В то время в совете Университи-колледжа не было ни одного математика, и это явилось второй причиной, по которой, как он полагал, я должен был заняться химией и попытаться получить естественно-научное образование, а не математическое.

Остальные члены семьи уехали на год в Индию, но мне пришлось остаться, чтобы закончить школу и поступить в университет. Директор школы считал меня слишком молодым для Оксфорда, но в марте 1959 года я поехал туда держать экзамен вместе с двумя ребятами, закончившими школу на год раньше. Я был убежден, что подготовлен плохо, и меня угнетало, что во время практического экзамена университетские преподаватели подходили говорить с другими, а не со мной. Однако через несколько дней после возвращения из Оксфорда я получил телеграмму с сообщением, что поступил.

Мне было семнадцать, а большинство других студентов на курсе уже прошли службу в армии и были много старше. Весь первый курс и часть второго я чувствовал себя довольно одиноко и только на третьем

ощутил себя действительно счастливым. В то время в Оксфорде преобладало враждебное отношение к труду. Предполагалось, что или твои способности позволяют не прикладывать никаких усилий, или же ты признаешь свою ограниченность и получаешь «неуды». Усердно же работать, чтобы получить более высокую оценку, считалось признаком серости — страшнейший эпитет в оксфордском лексиконе.

В то время курс физики в Оксфорде был построен так, что избежать работы не представляло большой сложности. Я сдал один экзамен до приезда туда, а потом за три года пришлось сдать лишь выпускной экзамен. Однажды я подсчитал, что за три года пребывания в Оксфорде выполнил работ примерно на тысячу часов — в среднем час в день. Я не горжусь тем, что мало работал, а просто описываю свои воззрения того времени, и такие же взгляды были у большинства моих товарищей; они чувствовали только скуку и считали, что нет такой цели, для достижения которой стоит прилагать усилия. Одним из результатов моей болезни является полная перемена воззрений: зная, что можешь рано умереть, понимаешь — жизнь стоит того, чтобы ее прожить, и есть множество вещей, которые надо сделать.

Поскольку занимался я мало, то планировал сдать выпускной экзамен, рассматривая проблемы теоретической физики и избегая вопросов, требующих фактических знаний. Однако в ночь перед экзаменом из-за нервного напряжения я не мог уснуть и отвечал не блестяще. Моя оценка оказалась на грани между «хорошо» и «отлично», и, чтобы окончательно определиться, экзаменаторы задавали дополнительные вопросы. Они спросили о моих планах на будущее, и я ответил, что хо-

тел бы заняться исследовательской работой. Если бы мне поставили «отлично», я бы отправился в Кембридж, если всего лишь «хорошо» — остался бы в Оксфорде. Мне поставили «отлично».

Я видел для себя две фундаментальные области теоретической физики, которыми мог бы заняться: одна — космология, изучение необъятного, другая — элементарные частицы, изучение бесконечно малого. Элементарные частицы казались мне менее привлекательными, потому что для них не было соответствующей теории, несмотря на то что ученые все время находили множество новых частиц. Исследователи просто разбивали их на семейства, как в ботанике. А в космологии существовала хорошо проработанная теория — общая теория относительности Эйнштейна.

Но в Оксфорде тогда никто не занимался космологией, а в Кембридже работал Фред Хойл — выдающийся астроном того времени. Я подал заявку, чтобы работать над диссертацией у Хойла. Заявка была принята, так как я получил «отлично», но меня опечалило, что моим руководителем стал не Хойл, а некто по имени Денис Сиам, о котором я ничего не слышал. Однако потом оказалось, что это было и к лучшему: Хойл проводил много времени за границей, и, вероятно, я бы не часто с ним виделся, а Сиам был на месте и всегда подстегивал меня, хотя зачастую я и не разделял его идей.

Поскольку и в школе, и в Оксфорде я мало занимался математикой, общая теория относительности показалась мне сначала трудной, и я не сильно в ней продвинулся. К тому же в последний год своего пребывания в Оксфорде я заметил, что становлюсь все более неуклюжим в движениях. Вскоре по приезде в Кембридж

мне поставили диагноз АБС — амиотрофический боковой склероз, или нейромоторное заболевание, как его называют в Англии (в Соединенных Штатах его называют также болезнью Лу Герига). Врачи не могли предложить никакого лечения и не давали гарантий, что мое состояние не ухудшится.

Сначала болезнь как будто прогрессировала довольно быстро. В своих исследованиях я не видел большого смысла, поскольку не предполагал дожить до получения докторской степени. Однако время шло, а развитие болезни словно замедлилось. К тому же я начал постигать общую теорию относительности и продвинулся в своей работе. Но по-настоящему все изменила моя помолвка с девушкой по имени Джейн Уайлд, с которой я познакомился примерно в то же время, когда мне поставили диагноз. Это дало мне стимул к жизни.

Раз мы собирались пожениться, я должен был получить место, а для получения места нужно было закончить диссертацию. Поэтому я впервые в жизни принялся за работу. К моему удивлению, мне это понравилось. Возможно, не совсем правильно называть это работой. Кто-то однажды сказал: ученые и проститутки берут деньги за то, что им самим доставляет удовольствие.

Я решил подать заявку на должность научного сотрудника в Гонвилл-энд-Кейс-колледже и надеялся, что Джейн напечатает ее, но, когда она приехала ко мне в Кембридж, ее рука была в гипсе — перелом. Должен признать, я проявил меньше сочувствия, чем следовало бы. Сломана была левая рука, и Джейн смогла под мою диктовку написать заявку, а я нашел того, кто ее напечатал.

В заявке нужно было назвать двух людей, которые могли бы дать отзыв о моих работах. Мой руководитель предложил попросить отзыв у Германа Бонди. Бонди был профессором математики в лондонском Кингс-колледже, специалистом по общей теории относительности. Я встречался с ним пару раз, он видел одну мою статью в журнале «Просидингс оф зе Ройял Сосаети», и после лекции, которую Бонди читал в Кембридже, я попросил его дать отзыв. Он взглянул на меня и сказал, что даст, но, очевидно, меня не вспомнил, поскольку, когда к нему обратились по этому поводу из колледжа, Бонди ответил, что никогда обо мне не слышал. Сейчас поступает очень много заявок на место научного сотрудника, и если одно из указанных в заявке лиц говорит, что не знает заявителя, это конец. Но в то время к подобному относились спокойнее. Из колледжа мне написали об обескураживающем ответе одного рецензента, и мой руководитель связался с Бонди и освежил его память. После этого Бонди написал мне отзыв — наверное, лучше, чем я заслуживал, и с тех пор я научный сотрудник Кейс-колледжа.

Получение места означало, что мы с Джейн можем пожениться. В июле 1965 года мы это и сделали. В качестве свадебного путешествия мы провели неделю в Суффолке — это все, что нам позволяли средства. Потом отправились на летние курсы по общей теории относительности при Корнелльском университете на севере штата Нью-Йорк. Это было ошибкой. Мы поселились в общежитии, полном супружеских пар с шумливыми маленькими детьми, и это придало странный оттенок нашему браку. Однако в других отношениях летние курсы оказались для меня очень полезны, так как я встретился со многими корифеями в этой области.

До 1970 года мои исследования касались космологии, изучения Вселенной в крупном масштабе. Моя самая значительная работа в этот период была о сингулярностях. Наблюдения отдаленных галактик показывали, что они движутся от нас, — Вселенная расширяется. Это подразумевало, что в прошлом галактики должны были быть ближе друг к другу. Возникал вопрос: было ли в прошлом такое время, когда галактики находились все вместе и плотность Вселенной была бесконечной? Или до того была фаза сжатия, когда галактикам удалось избежать столкновения? Возможно, они пронеслись мимо друг друга и начали разлетаться? Для ответа на этот вопрос требовались новые математические методы. Они были разработаны в 1965–1970 годах, главным образом Роджером Пенроузом и мной. Пенроуз тогда работал в Биркбек-колледже в Лондоне, сейчас он в Оксфорде. Воспользовавшись этими методами, мы показали, что если общая теория относительности верна, то в прошлом должно было быть состояние с бесконечной плотностью.

Такое состояние с бесконечной плотностью называется сингулярностью Большого Взрыва. Это означает, что, если общая теория относительности верна, наука не могла бы рассчитать, как возникла Вселенная. Однако моя более поздняя работа показывает, что если принять во внимание теорию квантовой физики — теорию мельчайших частиц, то все-таки можно рассчитать, как возникла Вселенная.

Общая теория относительности также утверждает, что массивные звезды, когда израсходуют свое ядерное топливо, сожмутся внутрь себя. Работа, которую проделали мы с Пенроузом, показывает, что они будут продолжать сжиматься, пока не достигнут сингуляр-

ности, или бесконечной плотности. Эта сингулярность стала бы концом времени — по крайней мере для звезды и всего сущего на ней. Гравитационное поле сингулярности было бы столь сильным, что свет не мог бы вырваться из области вокруг нее, а затягивался бы этим полем назад. Область, из которой невозможно вырваться, называется черной дырой, а ее границы — горизонтом событий. Все, что падает в черную дыру через горизонт событий, приходит к концу времени в этой сингулярности.

Однажды ночью (это было в 1970 году, вскоре после рождения моей дочери Люси) я размышлял о черных дырах, и вдруг меня осенило, что многие из разработанных Пенроузом и мною методов для доказательства сингулярностей можно применить и к черным дырам. В частности, область горизонта событий, граница черной дыры, не может уменьшаться со временем. И если две черные дыры столкнутся и сольются в одну, то площадь горизонта событий получившейся дыры будет больше суммы площадей горизонтов исходных черных дыр. Это накладывает существенное ограничение на величину энергии, которая выделится при столкновении. Я был так взволнован, что заснуть в ту ночь уже не мог.

С 1970 по 1974 год я работал в основном над черными дырами. Но в 1974-м я сделал, возможно, мое самое удивительное открытие: черные дыры не совершенно черные! Если принять в расчет мелкомасштабное поведение материи, частицы и излучение могут просочиться из черной дыры: она испускает излучение, словно горячее тело.

С 1974 года я работаю над приведением общей теории относительности и квантовой механики в одну

согласованную теорию. Одним из результатов этого стало предположение, сделанное мной в 1983 году вместе с Джимом Хартлом из Калифорнийского университета в Санта-Барбаре: время и пространство конечны, но не имеют границ или краев. Это можно сравнить с поверхностью Земли, но не в трех, а в пяти измерениях. Земная поверхность не бесконечна, но границ не имеет. Сколько я ни путешествовал, мне так и не удалось упасть с края мира. Если бы данное предположение оказалось верно, не было бы никаких сингулярностей и научные законы выполнялись бы везде, в том числе и в начале Вселенной. Как возникла Вселенная, можно было бы определить научными законами. Я бы удовлетворил свои амбиции и открыл, *как* возникла Вселенная. Но я так и не знаю, *почему* она возникла.

Меня довольно часто спрашивают: «Что вы думаете о своей болезни?» И я отвечаю: «Я не очень много о ней думаю. Стараюсь по мере возможности жить как нормальный человек, не задумываться о своем состоянии и не жалеть о том, что оно чего-то не позволяет мне делать. Да таких вещей не так уж и много».

Когда обнаружилось, что у меня нейромоторное заболевание, это было для меня страшным ударом. В детстве я не отличался хорошей координацией движений, не блистал в играх с мячом. Возможно, по этой причине я не уделял большого внимания спорту и вообще занятиям, требующим физической активности. Но все изменилось, когда я поехал в Оксфорд. Я стал заниматься греблей и был рулевым. Конечно, я не соответствовал стандартам регаты, но мог выступать на соревнованиях в колледже.

Однако на третьем году учебы в Оксфорде я заметил, что становлюсь каким-то неуклюжим, пару раз я даже упал без видимой причины. Но только после года моего пребывания в Кембридже мать заметила это и отвела меня к врачу. Тот отправил меня к специалисту,

* Так назывался доклад Хокинга на конференции Британской ассоциации по нейромоторным заболеваниям, проходившей в Бирмингеме в октябре 1987 г.

и вскоре после моего двадцать первого дня рождения я прошел обследование в больнице. Пролежал я там две недели, в течение которых подвергался самым разнообразным испытаниям: у меня брали пробу мышечной ткани руки, втыкали в меня электроды, впрыскивали в позвоночник какую-то жидкость и в рентгеновских лучах наблюдали, как она поднимается и опускается при изменении угла наклона кровати. И после всего этого не сказали, какая у меня болезнь, а только заверили, что это не рассеянный склероз и, кроме того, у меня не типичный случай. Я понял, однако, что врачи предполагают ухудшение, но не могут предложить мне ничего, кроме витаминов. От витаминов нельзя было ожидать большого эффекта, а расспрашивать о подробностях не хотелось, так как ничего хорошего мне это не сулило.

Осознав, что у меня неизлечимая болезнь, которая, видимо, через несколько лет меня убьет, я был потрясен. Как такое могло случиться именно со мной? За что мне такой конец? Будучи в больнице, я видел, как на койке напротив умирал от лейкемии мальчик. Наблюдать это было тяжело, и мне стало ясно, что некоторым повезло еще меньше, чем мне. По крайней мере, меня не тошнило. Каждый раз, собираясь пожалеть себя, я вспоминаю того мальчика.

Я не знал, что меня ожидает и как быстро болезнь будет прогрессировать. Врачи разрешили мне возвратиться в Кембридж и продолжать исследования в общей теории относительности и космологии, которые я только начал. Но я не очень продвигался в этом, так как не имел достаточной математической подготовки, да ведь я мог и не дожить до завершения диссертации. Ощущая себя трагическим персонажем, я начал слу-

шать Вагнера, но пресса явно преувеличивает, сообщая, будто я тогда запил. Беда в том, что, когда одна статья утверждает нечто подобное, другие тут же копируют ее, потому что это хороший сюжет, а все, что выходит большим тиражом, непременно должно быть правдой.

Мои мечты в то время несколько смешались. До того как поставили диагноз, жизнь представлялась мне скучной. Казалось, в ней нет ничего такого, чем стоило бы заняться. Выйдя из больницы, я ощущал себя приговоренным к казни и вдруг понял, что я очень многим мог бы заняться, если бы исполнение приговора отложили. Не раз меня посещала мысль пожертвовать жизнью ради спасения других. В конце концов, все равно пришлось бы умереть, а так это могло бы принести кому-то пользу.

Но я не умер. И хотя над моим будущим нависли тучи, я, к своему удивлению, обнаружил, что настоящее приносит мне больше радости, чем раньше. Я начал продвигать свои исследования, обручился, женился и получил место в Кейс-колледже в Кембридже.

Место в колледже решило мои проблемы с занятостью. Мне повезло, что я решил работать в теоретической физике, так как это была одна из немногих областей, где мое физическое состояние не являлось серьезной помехой. И мне повезло, что по мере его ухудшения моя научная репутация росла. Благодаря этому я мог занять должность, позволяющую вести исследования, не читая лекций.

Нам также повезло с жильем. Когда мы поженились, Джейн еще училась на последнем курсе Уэстфилд-колледжа в Лондоне, так что на неделе ей

приходилось туда ездить. Поэтому нам нужно было подыскать что-то такое, где я мог бы сам управляться и чтобы это было в центре, поскольку я не мог далеко ходить. Я поинтересовался в колледже, не помогут ли мне, но в ответ услышал: «Политика колледжа — не помогать сотрудникам с жильем». Поэтому мы встали на очередь на одну из новых квартир, что строились у рынка (через несколько лет я обнаружил, что на самом деле эти квартиры принадлежали колледжу, но там мне об этом не сказали). Однако когда, проведя лето в Америке, мы вернулись в Кембридж, квартиры еще были не достроены. Как большое одолжение нам предложили комнату в общежитии для аспирантов, сказав при этом: «Обычно за такую комнату мы берем двенадцать шиллингов и шесть пенсов в день. Однако раз вас двое, будем брать двадцать пять шиллингов».

Мы прожили там всего три дня, а потом неподалеку нашли себе домик. Он принадлежал другому колледжу, который предоставил его одному из своих сотрудников. Тот недавно переехал в пригород и на оставшиеся три месяца передал его нам в субаренду. За эти три месяца мы подыскивали другой пустующий дом на той же улице. Сосед вызвал из Дорсета хозяйку и выразил ей свое возмущение по поводу того, что дом пустует, в то время как молодые люди ищут пристанища, и она пустила нас жить. Через несколько лет нам захотелось купить этот дом и отремонтировать, и мы попросили у колледжа ссуду. Нашу просьбу рассмотрели и сочли это слишком рискованным, так что в конце концов пришлось взять ссуду в строительном кооперативе, а мои родители дали денег на ремонт.

Мы прожили там еще четыре года, пока мне не стало слишком трудно подниматься по лестнице. К тому времени в колледже меня уже ценили и предложили квартиру на первом этаже принадлежавшего колледжу дома. Это меня устраивало, так как там были просторные комнаты и широкие двери. Дом располагался недалеко от центра, и я мог добираться до кафедры на своей электрической коляске. Он также пришелся по душе нашим троим детям, потому что вокруг был сад, за которым ухаживали садовники колледжа.

До 1974 года я мог сам есть, сам вставать и ложиться в постель. Джейн удавалось помогать мне и воспитывать двоих детей без посторонней помощи. Однако потом положение ухудшилось, и у нас всегда жил кто-нибудь из моих студентов. За бесплатное жилье и мое особое внимание студенты помогали мне вставать и ложиться. В 1980 году мы перешли к системе добровольного дежурства и частных сиделок, которые приходили на час-два утром и вечером. Так продолжалось до тех пор, пока в 1985 году я не заболел воспалением легких. Мне сделали трахеотомию, и с того момента я нуждался в круглосуточном присмотре. Это оказалось возможным благодаря грантам нескольких организаций.

До операции моя речь становилась все более неразборчивой, и понять ее могли только люди, хорошо меня знавшие. Но, по крайней мере, я мог хоть как-то общаться. Я писал научные труды, диктуя секретарю, а семинары проводил с переводчиком, который четко повторял мои слова. Однако трахеотомия совсем лишила меня возможности говорить. Какое-то время единственным способом общения для меня было поднятие бровей, когда кто-либо указывал в таблице на

нужную букву. Таким образом трудно поддерживать беседу, не говоря уж о написании научных трудов. Однако один компьютерщик из Калифорнии, по имени Уолт Уолтосц, прослышал о моем плачевном состоянии и прислал компьютерную программу «Эквалайзер», которую сам написал. Это позволило мне выбирать слова из меню на экране, нажимая рукой на ключ. Программа также реагировала на движения головы и глаз. Построенную таким образом фразу я мог послать на речевой синтезатор.

Сначала я запускал «Эквалайзер» на настольном компьютере. Потом Дэвид Мэйсон из «Кембридж Адаптив Коммюникейшенз» построил маленький персональный компьютер и речевой синтезатор в мою коляску. Эта система позволила мне общаться еще лучше, чем раньше. Я мог набирать до пятидесяти слов в минуту, чтобы или выговаривать написанное, или записывать на диске. Потом я мог распечатать это или вызвать снова и проговорить предложение за предложением. При помощи этой системы я написал две книги и ряд научных работ. Я также сделал множество научных и научно-популярных докладов, и их хорошо воспринимали — думаю, в немалой степени благодаря качеству речевого синтезатора, изготовленного фирмой «Спич Плас». Голос очень важен. Если вы говорите неразборчиво, люди склонны считать вас умственно неполноценным. Тот синтезатор — самый лучший из всех, что я когда-либо слышал, поскольку он интонирует текст, а не говорит на манер Далека*. Единственная беда — у него американский акцент. Однако теперь я уже сроднился с этим голосом и не хотел бы

* Робот из детской телепередачи. — *Примеч. пер.*

менять его, даже если бы мне предложили британское произношение. Я бы почувствовал себя другим человеком.

Я страдаю нейромоторным заболеванием практически всю мою взрослую жизнь, но это не помешало мне иметь прекрасную семью и добиться успехов в работе. И все это благодаря помощи, оказанной мне женой, детьми и многими другими людьми и организациями. Мне повезло, что мое состояние ухудшалось медленнее, чем в большинстве таких случаев. Это доказывает, что никогда не надо терять надежды.

ОТНОШЕНИЕ ЛЮДЕЙ К НАУКЕ*

Нравится нам это или нет, но мир, в котором мы живем, за последние сто лет здорово изменился и, похоже, в следующее столетие изменится еще больше. Некоторым хотелось бы остановить эти перемены и вернуться к тому времени, которое им кажется более чистым и простым. Но, как показывает история, прошлое не было таким уж чудесным. Оно было не так плохо для привилегированного меньшинства, но даже этому меньшинству приходилось обходиться без современной медицины, и рождение детей было для женщин весьма опасно. А для подавляющего большинства населения жизнь была ужасна, жестока и коротка.

Как бы то ни было, при всем желании невозможно повернуть время вспять. Знания и технику нельзя игнорировать. И нельзя остановить дальнейший прогресс. Даже если изъять все деньги, выделенные правительством на исследования (а нынешнее правительство старается это делать), конкуренция все равно призовет на помощь преимущества технологий. Более того, нельзя запретить пытливым умам думать о фундаментальной науке, независимо от то-

* Доклад, сделанный в Овьедо, Испания, при получении премии Конкорд в октябре 1989 г. (переработан).

го, платят им за это или нет. Единственный путь воспрепятствовать дальнейшему развитию — это тоталитарное государство, подавляющее все новое, но человеческая инициатива и изобретательность таковы, что даже и это не поможет. Все, чего удастся достичь, это замедлить темп перемен.

Если мы понимаем, что нельзя помешать науке и технике изменить мир, мы можем, по крайней мере, попытаться сделать так, чтобы эти изменения шли в правильном направлении. В демократическом обществе это означает, что народ должен иметь некоторое представление об основных научных понятиях, чтобы использовать информацию для принятия решений, а не делать это прерогативой специалистов. В настоящий момент у людей довольно двойственное отношение к науке. Они ждут, что новые достижения науки и техники приведут к дальнейшему повышению жизненных стандартов, но в то же время не доверяют науке, потому что не понимают ее. Это недоверие ясно проявляется в карикатурном изображении ученого, делающего в своей лаборатории Франкенштейна. Оно также проявляется в поддержке партий зеленых. И в то же время интерес к науке в обществе очень высок, особенно к астрономии, что видно по той широкой аудитории, которую привлекают научно-фантастические телевизионные сериалы.

Что можно сделать, чтобы направить этот интерес в нужное русло и дать народу научную подготовку, нужную для принятия обоснованных решений в таких вопросах, как кислотные дожди, парниковый эффект, ядерное оружие и генная инженерия? Ясно, что фундамент должен быть заложен в школе. Но школьная наука часто преподается в сухой и

неинтересной форме. Дети учатся механически запоминать, чтобы сдать экзамен, и не видят связи науки с окружающим миром. Более того, наука часто преподносится в виде формул. Хотя формулы являются сжатым и точным способом описания математической мысли, большинство людей их пугаются. Когда я недавно писал научно-популярную книжку, меня предупредили, что каждая формула в ней вдвое уменьшит объем продаж. Я включил только одну — знаменитую формулу Эйнштейна $E = mc^2$. Возможно, без нее мне бы удалось продать вдвое больше экземпляров.

Ученые и инженеры стремятся выразить свои мысли в виде формул, потому что им нужно знать точные количественные значения величин. Но для всех остальных достаточно качественного понимания научных концепций, а это можно передать словами и диаграммами, без формул. Я не изучал в школе молекулярную биологию и транзисторы, но гениальная инженерия и компьютеры — это два достижения, которые, скорее всего, изменят наш будущий образ жизни. Научно-популярные книги и статьи в журналах могут помочь в объяснении новых достижений науки, но даже самые удачные из них читает лишь малая часть населения. Только телевидение может собрать поистине массовую аудиторию. На телевидении есть несколько очень хороших научно-популярных программ, но остальные представляют чудеса науки просто как волшебство, без объяснений, не демонстрируя, как они вписываются в рамки научных идей. Продюсеры этих программ должны понять, что в их обязанность входит просвещать народ, а не только развлекать его.

В отношении каких научных вопросов людям в ближайшем будущем предстоит принять решение? Самый насущный — вопрос о ядерном оружии. Действие других глобальных проблем, таких как обеспечение продовольствием или парниковый эффект, довольно замедленно, но ядерная война за несколько дней положит конец существованию человечества на Земле. Разрядка напряженности между Востоком и Западом, почти прекратившая холодную войну, означает, что страх перед ядерной войной отступил на второй план. Но опасность еще остается, поскольку в мире достаточно оружия, чтобы многократно уничтожить все население планеты. В бывших советских республиках и в США ядерное оружие все еще пребывает в готовности уничтожить все крупные города северного полушария. Какая-нибудь компьютерная ошибка или бунт обслуживающего персонала может начать мировую войну. А еще более тревожно то, что и сравнительно маленькие державы обзаводятся теперь ядерным оружием. Крупные державы до сих пор вели себя ответственно, но нельзя питать подобной уверенности относительно маленьких стран, таких как Ливия или Ирак, Пакистан или даже Азербайджан. Опасность заключается не столько в ныне существующем ядерном оружии, которым эти страны скоро могут завладеть, — оно было бы довольно примитивным, хотя все равно могло бы убить миллионы человек. Страшнее то, что в ядерную войну между малыми странами могут быть втянуты и большие державы с их гигантскими арсеналами.

Очень важно, чтобы люди осознали эту опасность и оказали давление на свои правительства, заставляя их согласиться на значительное разоружение. Вероятно,

полностью уничтожить ядерное оружие нереально, но и путем снижения его количества мы можем уменьшить угрозу войны.

Даже если нам удастся избежать ядерной войны, все равно остаются опасности, способные уничтожить нас всех. Известна мрачная шутка: мы якобы не входим в контакт с иными цивилизациями потому, что они имеют тенденцию самоуничтожаться, когда достигают нашего нынешнего уровня. Но я верю в здравый смысл людей и надеюсь: мы докажем, что это не так.

КРАТКАЯ ИСТОРИЯ «КРАТКОЙ ИСТОРИИ»*

Я все еще ошеломлен тем приемом, какой получила моя книга «Краткая история времени». В течение тридцати семи недель она оставалась в списке бестселлеров «Нью-Йорк Таймс» и в течение двадцати семи недель — в списке «Санди Таймс» (в Великобритании ее опубликовали позже, чем в Соединенных Штатах). Ее перевели на двадцать языков (или двадцать один, если не считать американский язык английским). Это гораздо больше, чем я ожидал, когда в 1982 году мне пришла в голову мысль написать популярную книжку о Вселенной. Отчасти причиной была необходимость заработать денег, чтобы оплатить учебу дочери в школе (на самом деле ко времени выхода книги дочь уже была в последнем классе). Но главное — мне хотелось объяснить, как далеко, по моему представлению, мы зашли в нашем понимании Вселенной, как близко мы подошли к единой завершенной теории, описывающей Вселенную и все сущее в ней.

* Первоначально это эссе было опубликовано в 1988 г. как статья «Независимый. Краткая история времени», оставшаяся 53 недели в списке бестселлеров «Нью-Йорк Таймс»; в Великобритании (по данным на февраль 1993 г.) она продержалась в списке бестселлеров «Санди Таймс» 205 недель (на 184-ю неделю вошла в «Книгу рекордов Гиннеса» за наибольшее число появлений в списке). Переведена на тридцать три языка.

Раз уж я собрался потратить время на написание книги, я бы хотел, чтобы с ней познакомилось как можно большее число людей. До этого мои публикации выходили в издательстве «Кембридж Университи Пресс». Оно проделало хорошую работу, но я не чувствовал, что книги пользуются спросом на более-менее массовом рынке, а мне хотелось именно этого. Поэтому я связался с литературным агентом Элом Цукерманом, с которым меня познакомил один мой коллега, представив Эла своим зятем. Я дал ему набросок первой главы и высказал свое пожелание, чтобы книга была из тех, что продаются на лотках в залах ожидания аэропортов. Он сказал, что это невозможно. Она может хорошо пойти среди профессоров и студентов, но на территорию Джеффри Арчера такие книги не пробиваются*.

В 1984 году я предоставил Цукерману набросок книги. Он разослал его нескольким издателям и порекомендовал мне принять предложение от американской фирмы «Нортон», выпускающей книги скорее для интеллектуальной элиты. Вместо этого я решил принять предложение от издательства «Бантам Букс», ориентированного на более широкий рынок. Это издательство не специализировалось на публикации научных книг, но зато его издания продавались в аэропортах. Мою рукопись они приняли, вероятно, из-за интереса, проявленного к ней одним из редакторов, Питером Гудзарди. Он отнесся к своей работе очень серьезно и заставил меня переписать книгу, чтобы сделать ее понятной не для ученых, а для простых людей вроде не-

* Джеффри Арчер (р. 1940) — английский писатель и политический деятель, автор многих бестселлеров. — *Примеч. пер.*

го самого. Каждый раз, когда я посылал ему переписанную главу, он присылал обратно перечень возражений и вопросов, которые хотел бы прояснить. Временами мне казалось, что этот процесс никогда не закончится. Но Питер Гудзарди оказался прав: в результате книга стала гораздо лучше.

Вскоре после того, как я принял предложение от издательства «Бантам Букс», я заболел воспалением легких. Мне пришлось перенести трахеотомию, в результате чего я лишился голоса. Какое-то время я мог общаться лишь поднимая брови, когда мне показывали нужную букву в таблице, и у меня бы не было никакой возможности закончить книгу, если бы не подаренная мне компьютерная программа. Она работала довольно медленно, но я и думаю медленно, так что она меня вполне устроила. С ее помощью по настоянию Гудзарди я почти полностью переписал первый вариант. В этом мне помогал один из моих студентов, Брайан Уитт.

На меня произвел большое впечатление телевизионный сериал Джейкоба Броновски «Восхождение человека» (такое сексистское название сегодня бы не разрешили*). Он давал ощущение подвига рода человеческого, развившегося от примитивных дикарей, каковым он был всего пятнадцать тысяч лет назад, до нынешнего состояния. Мне хотелось передать то же чувство, которое возникает при осознании нашего прогресса в понимании законов, управляющих Вселенной. Я не сомневался, что почти всем интересно, как функционирует Вселенная, но большинство

* Английское название «The Ascent of Man» можно перевести также «Восхождение мужчины». — *Примеч. пер.*

не выносит математических формул — я и сам-то их не очень люблю. Отчасти это вызвано тем, что мне их трудно писать, но главная причина в том, что у меня нет интуитивного чувства формулы. Вместо этого я мыслю картинками, и в книге пытался выразить образы словами с помощью знакомых аналогий и нескольких диаграмм. Таким образом я надеялся дать большинству людей возможность разделить со мной восхищение замечательным прогрессом, проделанным физиками за последние двадцать пять лет, и ощущение подвига.

И все же, даже если избежать математических выкладок, некоторые идеи остаются непривычными и трудными для понимания. Передо мной стояла дилемма: следует ли попытаться объяснить с риском запутать читателей или лучше затушевать трудности? Некоторые непривычные концепции, например то, что наблюдатели, движущиеся с разной скоростью, по-разному измеряют временные промежутки между одними и теми же событиями, были не так существенны для картины, которую я хотел нарисовать. Поэтому мне казалось, что можно просто упомянуть о них, не вдаваясь глубоко. Но были и сложные идеи, лежащие в основе того, что мне хотелось донести до читателя. В частности, я чувствовал, что обязательно должен включить два понятия. Одно из них — так называемая сумма историй. Это идея о том, что у Вселенной не одна история. Есть совокупность самых разных историй, и все они одинаково реальны (что бы это ни означало). Другое понятие, необходимое для того, чтобы придать сумме историй математический смысл, — это мнимое время. Сейчас я чувствую, что тогда мне следовало приложить больше усилий для объяснения

этих двух очень непростых понятий, особенно мнимого времени, — мне кажется, они доставляют читателю наибольшие трудности. Однако на самом деле нет такой уж необходимости точно понимать, что же такое мнимое время, — просто оно отличается от того времени, которое мы называем реальным.

Когда книга приближалась к выходу в свет, один ученый, которому послали сигнальный экземпляр для рецензии в журнале «Нейчур», пришел в ужас, обнаружив там кучу ошибок — неверно размещенных фотографий и диаграмм с неправильными подписями. Он позвонил в издательство, там тоже пришли в ужас и решили в тот же день забраковать весь тираж. Три недели всю книгу интенсивно корректировали и перепроверяли, и она была готова в срок, чтобы к апрелю, к назначенной дате, появиться в книжных магазинах. К тому времени журнал «Тайм» опубликовал мой краткий биографический очерк. И все же редакторы не ожидали такого спроса. Сейчас выходит семнадцатое издание в Америке и десятое в Великобритании*.

Почему на эту книгу был такой спрос? Мне трудно быть объективным, и потому, пожалуй, я подожду, что скажут другие. Большинство отзывов я счел благосклонными, но не вносящими особой ясности. Все они были построены по одной схеме: Стивен Хокинг страдает болезнью Лу Герига (в американских отзывах), или нейромоторным заболеванием (в британских); он прикован к инвалидной коляске, не может говорить и может только двигать энным числом пальцев (коли-

* К апрелю 1993 г. в США вышло 40-е издание в твердой обложке и 19-е — в мягкой, а в Великобритании — 39-е в твердой обложке.

чество пальцев варьировалось от одного до трех, в зависимости от того, насколько точна была статья обо мне, с которой ознакомился рецензент), и все же он написал эту книгу, посвященную вопросу вопросов: откуда мы взялись и куда мы идем? Ответ, предлагаемый Хокингом, таков: Вселенная не возникла и не исчезнет — она просто есть. Чтобы сформулировать свою мысль, Хокинг вводит понятие мнимого времени, которое мне (рецензенту), понять трудновато. И все же, если Хокинг прав и мы найдем полную обобщенную теорию, то действительно поймем замысел Бога. В корректуре я чуть было не вычеркнул последнюю фразу книги, где говорилось, что мы поймем замысел Бога. Если бы я сделал это, число продаж могло снизиться вдвое.

Более проникновенной, по моему мнению, была статья в «Индепендент», где говорилось, что даже серьезная научная книга вроде «Краткой истории времени» может стать культовой. Мое произведение сравнили с книгой «Дзен и искусство ухода за мотоциклом». Жена пришла в ужас, а я был даже польщен и надеялся, что оно, подобно «Дзену», даст людям понять, что не нужно отстраняться от великих философских и интеллектуальных вопросов.

Несомненно сыграл свою роль простой человеческий интерес к тому, как я умудряюсь быть физиком-теоретиком несмотря на свой недуг. Но купивших книгу только ради этого ждало разочарование, поскольку в ней всего пару раз упоминалось о моем состоянии. Книга посвящалась истории Вселенной, а не мне. Но это не помешало некоторым обвинить «Бантам» в том, что он бесстыдно спекулирует на моей болезни и что я тоже приложил к этому руку, разрешив

поместить на обложке свой портрет. На самом же деле, согласно договору, я не мог контролировать обложку. Однако мне удалось убедить издательство взять для британского издания фото получше, чем жалкая устаревшая фотография на американском издании. Но американскую обложку оставили без изменений, сказав, что американская публика уже идентифицирует ее с самой книгой.

Подразумевалось также, что люди покупают мою книгу и потому, что видели отзывы на нее в списке бестселлеров, но не читают, а просто прячут в шкаф или кладут на кофейный столик, поставив себе в заслугу ее приобретение, но не приложив ни малейших усилий к тому, чтобы понять ее. Не сомневаюсь, что такое случается, но, думаю, не чаще, чем с другими серьезными книгами, включая Библию и Шекспира. С другой стороны, я знаю, что хоть кто-то наверняка прочел ее, потому что каждый день получаю кипу писем, и многие задают вопросы и подробно комментируют мою книгу, а это свидетельствует о том, что они ее читали, хотя не всё в ней поняли. Меня даже останавливали на улице незнакомые люди и говорили, что книга им очень понравилась. Конечно, меня нетрудно узнать: я, может быть, не самый выдающийся автор, но внешность выдает меня быстрее, чем других. Однако по частоте, с которой я получаю такие поздравления на улице (к большому смущению моего девятилетнего сына), похоже, можно судить о соотношении купивших книгу и действительно прочитавших ее.

Теперь меня спрашивают, что я собираюсь делать дальше. Вряд ли я смогу написать продолжение к «Краткой истории времени». А как бы я назвал его?

«Более длинная история времени»? «По ту сторону конца времени»? «Сын времени»? Мой агент предложил мне дать согласие на съемку фильма о моей жизни. Но у меня и моих близких не останется ни капли самоуважения, если мы разрешим актерам изображать нас. То же самое, хотя и в меньшей степени, можно сказать о намерении позволить и помочь кому-то описать мою жизнь. Конечно, я не могу запретить кому-либо сделать это самостоятельно при условии, что там не будет клеветы, но я стараюсь удерживать людей от этого, говоря, что собираюсь сам написать автобиографию. Может быть, и напишу. Но не тороплюсь. Есть еще много научных проблем, которыми я хочу заняться.

Эта статья не о том, верю ли я в Бога. Вместо этого я объясню свой подход к пониманию Вселенной: каково состояние и значение всеобщей теории, «теории всего». Вот тут действительно есть проблема. Люди, которые должны изучать эти вопросы и отвечать на них, — философы — в большинстве своем не имеют достаточной математической подготовки, чтобы угнаться за современными достижениями теоретической физики. Существует подотряд, называемый философами науки, которые должны бы быть более подкованными. Но многие из них — неудавшиеся физики, которым показалось слишком трудным делом разрабатывать новые теории, и вместо этого они пишут о философии физики. Они по-прежнему спорят о научных теориях начала века и не касаются передовых рубежей современной физики.

Возможно, я слишком суров к философам, но и они со мной были не слишком любезны. Мой подход они называли наивным и простодушным, а меня самого — номиналистом, инструменталистом, позитивистом, реалистом и всякими прочими «истами». Это метод опровержения путем очернения: если сможешь наклеить на мой подход ярлык, то и не надо доказывать, чем же

* Первоначально было прочитано как доклад студентам Кейс-колледжа в мае 1992 г.

он неверен, — разумеется, все знают фатальную ошибочность всех этих «измов».

Те, кто действительно продвинулся в теоретической физике, мыслят совсем не теми категориями, что постоянно для них придумывают философы и историки науки. Я уверен, что Эйнштейна, Гейзенберга и Дирака не беспокоило, реалисты они или инструменталисты. Их заботой было лишь то, что существовавшие теории не стыковались друг с другом. В теоретической физике для продвижения вперед поиск логической последовательности всегда был важнее, чем экспериментальные результаты. Многие прекрасные теории отвергались, так как не согласовывались с наблюдениями, но я не знаю ни одной серьезной теории, которая продвинулась бы только на основе эксперимента. Теория всегда приходит первой, она возникает из желания получить стройную математическую модель. Затем делаются предположения, которые проверяются наблюдением. Если наблюдения согласуются с предположениями, это не доказывает теорию, но она остается жить, чтобы сделать новые предположения, которые снова проверяются наблюдениями. Если наблюдения войдут в противоречие с предположениями, теория отвергается.

Точнее, считается, что все происходит именно так. На практике люди очень неохотно расстаются с теорией, на которую потратили много сил и времени. Обычно начинают ставить под сомнение точность наблюдений. Если это не удастся, то пытаются подправить теорию в манере *ad hoc**, и в конце концов она превращается в некое безобразное сооружение. Тогда кто-ни-

* *Ad hoc* (лат.) — для данного случая. — *Примеч. пер.*

будь предлагает новую теорию, стройную и естественную. Примером этого может служить выполненный в 1887 году опыт Майкельсона — Морли, который показал, что скорость света всегда одна и та же, как бы ни двигались источник света и наблюдатель. Это казалось смешно. Конечно же, тот, кто движется навстречу свету, должен измерить бо́льшую скорость, чем тот, кто движется в одном направлении со светом! И все же эксперимент показал, что оба наблюдателя измеряют одинаковую скорость. В течение последующих восемнадцати лет такие люди, как Хендрик Лоренц и Джордж Фицджералд, пытались согласовать это наблюдение с общепринятыми представлениями о времени и пространстве. Они выдвинули *ad hoc* некоторые предположения, как, например, то, что объекты, двигаясь с большой скоростью, становятся короче, — и весь каркас физики стал неуклюжим и уродливым. В 1905 году Эйнштейн предложил гораздо более привлекательную точку зрения, в которой время не рассматривалось как нечто отдельное и совершенно самостоятельное. Оно сливалось с пространством в четырехмерный объект, называемый пространство-время. Эйнштейна привели к этой мысли не столько результаты экспериментов, сколько желание заставить две части теории слиться в гармоничное целое. Этими двумя частями были законы, управляющие электрическим и магнитным полями, и законы, управляющие движением тел.

Не думаю, что Эйнштейн или кто-либо еще в 1905 году сознавал, какой простой и стройной оказалась эта новая теория относительности. Она полностью перевернула наше понимание пространства и времени. Этот пример хорошо иллюстрирует, как трудно быть реалистом в философии науки: ведь то, что мы считаем

реальностью, во многом обусловлено используемой нами теорией. Я уверен, что Лоренц и Фицджералд считали себя реалистами, интерпретируя эксперимент со скоростью света в терминах ньютоновских идей об абсолютном пространстве и абсолютном времени. Казалось, что эти понятия пространства и времени отвечают здравому смыслу и реальности. Но теперь те, кто знаком с теорией относительности, — а их все еще пугающе мало — имеют несколько иной взгляд. Мы должны рассказывать людям о современном понимании таких основополагающих концепций, как пространство и время.

Если то, что считать реальным, зависит от нашей теории, как же мы можем сделать реальность основой нашей философии? Я бы назвал себя реалистом в том смысле, что признаю существование вне нас Вселенной, ожидающей, когда ее исследуют и поймут. Я считаю, что позиция солипсиста — якобы все сущее есть наше воображение — это пустая трата времени. Никто не действует, опираясь на такую точку зрения. Но без какой-либо теории мы не можем выделить, что же во Вселенной реально. Поэтому я принимаю точку зрения, названную простодушной и наивной, что физическая теория — это просто математическая модель, используемая нами для описания результатов наблюдений. Теория является хорошей, если модель изящна, если она описывает большой класс наблюдений и предсказывает результаты новых наблюдений. В противном случае не имеет смысла спрашивать, соответствует ли теория реальности, так как мы знаем, что реальность зависит от теории. Подобный взгляд на научные теории, возможно, делает меня инструменталистом или позитивистом — как я уже говорил, меня называли и так и так. Человек, назвавший меня позитивистом, пошел дальше: он добавил, что всем

известно, как позитивизм устарел, — еще один случай опровержения путем наклеивания ярлыка. Может быть, он действительно устарел в том, что было пунктиком интеллектуалов вчерашнего дня, но тому, кто ищет новые законы и новые методы описания Вселенной, эта очерченная мной позитивистская позиция представляется единственно возможной. Нехорошо апеллировать к реальности, когда у нас нет независимой от модели концепции этой реальности.

По моему мнению, невысказанная вера в независимую от модели реальность и является глубинной причиной тех трудностей, с которыми философы науки сталкиваются при изучении квантовой механики и принципа неопределенности. Существует знаменитый мысленный эксперимент, называемый «кошкой Шрёдингера». Кошку помещают в запечатанный ящик. На ящик направлена пушка, которая выстрелит, если радиоактивный нуклид распадется. Вероятность этого 50 процентов (сегодня никто не посмеет предположить такую вещь даже для мысленного эксперимента, но во времена Шрёдингера никто не слышал о правах животных).

Если откроют ящик, то обнаружат кошку живой или мертвой. Но до того, как его откроют, квантовое состояние кошки будет смесью состояния мертвой кошки с состоянием живой. Философам науки очень трудно допустить это. Кошка не может быть наполовину застреленной, а наполовину незастреленной, как нельзя быть наполовину беременной. Эта трудность возникает оттого, что они косвенно пользуются классической концепцией реальности, где объект имеет определенную и единственную предысторию. Но весь фокус в том, что у квантовой механики другой взгляд на реальность. Согласно ему, объект имеет не единственную

предысторию, но все возможные предыстории. В большинстве случаев вероятность какой-то одной предыстории отменяется вероятностью несколько иной предыстории, но в определенных случаях вероятности соседних предысторий усиливают друг друга. И одну из этих усиленных предысторий мы видим как предысторию объекта.

В случае с кошкой Шрёдингера две возможные предыстории усилили друг друга. В одной кошку застрелили, а в другой она осталась жива. В квантовой теории обе возможности могут существовать вместе. Но некоторые философы сбиваются с толку, поскольку косвенно предполагают, что кошка может иметь только одну предысторию.

Природа времени — еще один пример области, где физическая теория определяет нашу концепцию реальности. Принято считать очевидным, что время течет всегда, независимо от того, что происходит; но теория относительности, соединяя время и пространство, говорит, что и то и другое может искривляться или деформироваться материей Вселенной. Так что наше восприятие природы времени изменилось: раньше считалось, что оно независимо от Вселенной, а теперь считается, что оно ею формируется. И тогда становится возможным понять, что время до какого-то определенного момента было просто не определено; если двинуться во времени вспять, то можно натолкнуться на непреодолимый барьер — сингулярность, за которую не зайти. В таком случае имело бы смысл спросить, что произвело Большой Взрыв. Если мы говорим о причинности, это неявно подразумевает, что до Большого Взрыва сингулярности что-то было. Но как нам известно уже двадцать пять лет, общая теория относитель-

ности Эйнштейна говорит, что время должно было начаться с сингулярности пятнадцать миллиардов лет назад. Однако философы не подхватили эту идею. Их все еще заботят основы квантовой механики, заложенные шестьдесят пять лет назад. Они не понимают, что передовой край физики продвинулся дальше.

Еще хуже обстоит дело с математическим понятием мнимого времени, с помощью которого Джим Хартл и я предположили, что Вселенная, возможно, не имеет начала и конца. За слова о мнимом времени на меня яростно набросился один философ науки. «Как может математическая хитрость вроде мнимого времени иметь что-то общее с реальной Вселенной!» — восклицал он. Думаю, этот философ перепутал математические термины «вещественное число» и «мнимое число» с соответствующими словами, которые мы используем в повседневной жизни. Это только иллюстрирует мою точку зрения: как можем мы знать, что такое реальное, независимо от теории или модели, при помощи которой мы это интерпретируем?

Я воспользовался примерами из теории относительности и квантовой механики, чтобы показать проблемы, с которыми мы сталкиваемся, пытаясь осмыслить Вселенную. И на самом деле не важно, разбираетесь ли вы в теории относительности и квантовой механике или нет и даже верны ли эти теории. Надеюсь, я продемонстрировал, что только нечто вроде такого позитивистского подхода, когда теория рассматривается как модель, может помочь понять Вселенную — по крайней мере, физикам-теоретикам. Я полон надежд, что мы найдем стройную и непротиворечивую модель, описывающую все во Вселенной, и тогда это будет истинным триумфом человечества.

ВИДЕН ЛИ КОНЕЦ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКЕ?*

На этих страницах я хочу обсудить вопрос, может ли конечная цель теоретической физики быть достигнута в не столь отдаленном будущем — скажем, к концу XX столетия. Под этим я понимаю возможность построить полную, гармоничную и всеобщую теорию физических взаимодействий, которая описала бы все доступные нам наблюдения. Конечно, в таких предположениях нужно быть очень осторожным. Мы уже по крайней мере дважды думали, что находимся на грани окончательного построения. В начале века верилось, что все можно понять в терминах непрерывной механики, нужно только измерить некоторые коэффициенты: упругость, вязкость, проводимость и т. п. Эти надежды были разбиты открытием квантовой механики и строения атома. В двадцатых годах Макс Борн сказал группе ученых, приехавших в Гёттинген: «Физика, как мы теперь понимаем, через полгода будет исчерпана». Это произошло вскоре после открытия Полем Дираком, предыдущим главой люкасовской кафедры, уравнения, описывающего поведение электрона. Предполагали, что аналогичное уравнение должно

* 29 апреля 1980 г. мне присвоили звание профессора математики люкасовской кафедры Кембриджского университета. Это эссе, мою инаугурационную речь, прочел за меня один из моих студентов.

существовать и для протона — второй из двух известных тогда частиц. Однако открытие нейтрона и ядерных сил развеяло эти надежды. Теперь мы знаем, что ни протон, ни нейтрон не являются элементарными, а состоят из еще меньших частиц. Тем не менее за последние годы мы достигли большого прогресса, и, как я покажу дальше, есть некоторые основания для осторожного оптимизма: мы можем создать полную теорию еще при жизни тех, кто сейчас читает эти страницы.

Но даже если мы и достигнем полной теории, мы не сможем детально предсказать ничего, кроме простейших ситуаций. Например, нам уже известно, как физические законы управляют тем, с чем мы сталкиваемся в повседневной жизни. Как определил сам Дирак, его уравнение стало основой «для большей части физики и для всей химии». Однако мы можем решить это уравнение только для очень простой системы — атома водорода, состоящего из одного протона и одного электрона. Для более сложных атомов с большим числом электронов, не говоря уж о молекулах из нескольких ядер, нам остается прибегать к аппроксимациям и интуитивным догадкам сомнительной надежности. Для макроскопических систем, состоящих, например, из 1023 частиц, нам приходится прибегать к статистическим методам, и мы вынуждены расстаться со своими притязаниями на точное решение уравнения. Хотя в принципе нам известны уравнения, управляющие всеми биологическими процессами, мы не можем свести исследование человеческого поведения к отрасли прикладной математики.

Что же мы назвали бы всеобщей физической теорией? Наши попытки смоделировать физическую реальность, как правило, состоят из двух частей. Это а) множество

частных законов, которым подчиняются различные физические величины, и б) множество граничных условий, которые сообщают нам о состоянии некоторых областей Вселенной в определенное время и о тех эффектах, которые распространяются затем в нее из этих областей.

Многие заявили бы, что роль науки ограничивается первой частью, и когда мы получим полный набор частных физических законов, теоретическая физика достигнет своей цели. Вопрос о начальных условиях для Вселенной они отнесли бы к области метафизики или религии. Некоторым образом это похоже на то, как в прежние века препятствовали научным изысканиям, говоря, что все природные явления — деяния Бога и не следует выяснять их причины. Думаю, что начальные условия Вселенной — такой же подходящий предмет для научных исследований и теорий, как и частные физические законы. Мы не получим завершенной теории, пока не сможем чего-то большего, чем просто сказать: «Вещи таковы, каковы они есть, потому что они были такими, какими были».

Вопрос об уникальности начальных условий тесно связан с вопросом о произвольности частных физических законов: нельзя считать теорию завершенной, если она содержит ряд регулируемых параметров и позволяет подгонять константы, которым можно задавать произвольные значения. В действительности, похоже, ни начальные условия, ни значения параметров в теории не являются произвольными, а каким-то образом очень тщательно выбираются или устанавливаются. Например, если разница масс протона и нейтрона не была бы примерно вдвое больше массы электрона, не получилось бы около двух сотен стабильных нук-

лидов, что уравнивает элементы и является основой химии и биологии. Аналогично, если бы гравитационная масса протона значительно отличалась от действительной, не получилось бы звезд, в которых эти нуклиды могли бы строиться, а если бы начальное расширение Вселенной было чуть меньше или чуть больше, она бы захлопнулась до того, как эти звезды смогли развиться, или разлетелась бы так быстро, что звезды никогда бы не сформировались за счет гравитационной конденсации.

В самом деле, некоторые люди дошли до того, чтобы возвести эти ограничения на начальные условия и параметры в принцип, в «человеческий» принцип, который можно изложить так: «Вещи таковы, каковы они есть, потому что мы существуем». Согласно одной версии этого принципа, существует множество других, отдельных вселенных с другими значениями физических параметров и другими начальными условиями. Большинство этих вселенных не обеспечивают условий для развития сложных структур, нужных для возникновения разумной жизни. Только в некоторых из них, там, где условия и параметры схожи с нашей Вселенной, возможно возникновение разумной жизни, которая может задать вопрос: «Почему Вселенная такова, какой мы ее наблюдаем?» Ответ, конечно же, состоит в том, что если бы она была иной, то некому было бы и задать вопрос.

Этот «человеческий» принцип дает некоторое объяснение многих замечательных числовых соотношений, которые наблюдаются между значениями различных физических параметров. Однако остается некоторая неудовлетворенность — нельзя избавиться от чувства, что есть более глубокое объяснение. Он

также не учитывает все области Вселенной. Например, наша Солнечная система несомненно является необходимым условием нашего существования, так же как и ранние поколения ближайших звезд, в которых путем ядерного синтеза смогли сформироваться тяжелые элементы. Даже возможно, что потребовалась вся наша Галактика. Но не видно никакой необходимости в существовании каких-либо других галактик, не говоря уж о тех миллионах миллионов, что мы видим более-менее равномерно разбросанными по всей доступной наблюдению Вселенной. Эта макроскопическая однородность Вселенной очень мешает поверить, что строение Вселенной определяется чем-то таким периферийным, как сложные молекулярные структуры на одной из малых планет, вращающихся вокруг самой обычной звезды на окраинах довольно заурядной спиральной галактики.

Если мы не собираемся обратиться к «человеческому» принципу, нам нужно как-то обобщить теорию, чтобы учесть начальные условия Вселенной и значения различных физических параметров. Однако слишком трудно придумать завершенную теорию всего сразу (впрочем, похоже, некоторых это не останавливает — я получаю по почте две-три всеобщие теории в неделю). Вместо этого мы ищем частные теории, которые опишут ситуации, где некоторые взаимодействия можно оставить без внимания или каким-то простым способом аппроксимировать. Сначала мы делим материальное содержимое Вселенной на две части: вещественные частицы, такие как кварки, электроны, мюоны и т. п., и взаимодействия, такие как гравитация, электромагнетизм и прочее. Вещественные частицы описываются полями с полуцелым спином и подчиняются принципу

Паули, который не допускает, чтобы хотя бы две такие тождественные частицы были в одном состоянии. Вот почему твердые тела не сжимаются в точку и не испускают лучи в бесконечность. Вещественные частицы делятся на две группы: адроны, состоящие из кварков, и лептоны, включающие в себя все остальное.

Взаимодействия феноменологически делятся на четыре категории. В порядке убывания силы они таковы: сильные ядерные взаимодействия, относящиеся только к адронам; электромагнетизм, взаимодействующий с заряженными адронами и лептонами; слабые ядерные силы, взаимодействующие со всеми адронами и лептонами; и, наконец, гравитация — самая слабая, взаимодействующая со всем. Взаимодействия представляются полями с целочисленным спином, не подчиняющимися принципу Паули. Это означает, что они могут иметь много частиц в одном и том же состоянии. В случае электромагнетизма и гравитации взаимодействия, кроме всего прочего, являются дальнедействующими, то есть поля, произведенные большим числом материальных частиц, складываются все вместе и образуют поле, которое можно выявить на макроскопическом уровне. По этой причине они оказались первыми, для которых были разработаны теории: Ньютоном в XVII веке — закон всемирного тяготения — и Максвеллом в XIX веке — теория электромагнетизма. Однако эти теории в основном не совмещались, потому что ньютоновская теория была инвариантна, если всей системе придавалась любая постоянная скорость, в то время как теория Максвелла определяла особую скорость — скорость света. Под конец оказалось, что Ньютону теорию гравитации нужно изменить, чтобы состыковать ее с инвариантными свойствами теории

Максвелла. Это сделала общая теория относительности Эйнштейна, сформулированная в 1915 году.

Общая теория относительности, описывающая гравитацию, и Максвеллова теория электромагнетизма были так называемыми классическими теориями, то есть имели дело с величинами, которые могли непрерывно изменяться и, по крайней мере в принципе, могли измеряться с произвольной точностью. Однако когда попытались применить такие теории для построения модели атома, возникла проблема. Обнаружилось, что атом состоит из маленького положительно заряженного ядра, окруженного облаком отрицательно заряженных электронов. Естественно было допустить, что электроны вращаются по орбитам вокруг ядра, как Земля вокруг Солнца. Но классическая теория утверждала, что электроны должны излучать электромагнитные волны. Эти волны забирали бы энергию, отчего электроны должны были по спирали приближаться к ядру, приводя к сжатию атома.

Эта проблема была решена благодаря несомненно величайшему достижению теоретической физики XX века: базовым постулатом явился принцип неопределенности Гейзенберга, утверждающий, что две величины, такие как положение и импульс частицы, нельзя измерить одновременно с произвольной точностью. Относительно атома это означало, что в своем низшем энергетическом состоянии электрон не может лежать на ядре, потому что в этом случае были бы точно определены его положение (на ядре) и скорость (нулевая). Вместо этого и положение, и скорость должны были быть размазаны вокруг ядра с каким-то вероятностным распределением. В этом состоянии электрон не может излучать энергию в виде электромагнитных

волн, потому что не было бы более низкого энергетического уровня, на который он мог бы перейти.

В двадцатых и тридцатых годах квантовую механику с огромным успехом применяли к таким системам, как атомы и молекулы, имевшим ограниченное число степеней свободы. Однако возникла трудность, когда попытались применить ее к электромагнитному полю, имевшему неограниченное число степеней свободы — грубо говоря, по две для каждой точки пространства-времени. Эти степени свободы можно рассматривать как осцилляторы, каждый со своим положением и импульсом. Осцилляторы не могут быть в покое, потому что тогда они имели бы точно определенное положение и импульс. Вместо этого каждый осциллятор должен иметь конечные по амплитуде, так называемые нулевые флуктуации и ненулевую энергию. Энергия всего бесконечного числа степеней свободы привела бы к тому, что масса и заряд электрона стали бы бесконечными.

Для преодоления этой трудности в 1940 году была разработана процедура, названная ренормализацией. Она состояла из довольно-таки произвольного вычитания одних бесконечных величин из других с целью получить конечный остаток. В случае с электродинамикой было необходимо сделать два таких бесконечных вычитания — одно для массы, а другое — для заряда электрона. Под эту процедуру ренормализации не было подведено прочного концептуального или математического фундамента, но на практике она работала очень неплохо. Ее успех предсказал одно небольшое смещение — смещение Ламба — на несколько линий в спектре атомного водорода. Однако с учетом попыток построить завершённую теорию это было не

очень удовлетворительно, потому что ренормализация не предсказывала значений конечного остатка после бесконечных вычитаний. Таким образом, чтобы объяснить, почему электрон имеет такие массу и заряд, какие он имеет, нам пришлось бы вернуться к человеческому принципу.

В течение пятидесятых и шестидесятых годов считалось, что слабые и сильные ядерные силы не подвержены ренормализации, то есть чтобы стать конечными, они потребовали бы бесконечного числа бесконечных вычитаний. Получилось бы бесконечное число остатков, не определенных в теории. Такая теория не имела бы силы предсказывать что-либо, потому что неограниченное число параметров измерить нельзя. Однако в 1971 году Герард Хофт показал, что единую модель электромагнитных и слабых взаимодействий, предложенную ранее Абдусом Саламом и Стивеном Вайнбергом, действительно можно ренормализовать конечным числом вычитаний. В протонной теории Салама — Вайнберга к частице со спином 1, несущей электромагнитное взаимодействие, присоединялись три других партнера со спином 1, названные W^+ , W^- и Z^0 . Предполагалось, что при очень больших энергиях все эти четыре частицы будут вести себя одинаково. Однако при малых энергиях теория замечательно сочеталась с наблюдениями, и это побудило Шведскую Академию присудить Нобелевскую премию Саламу, Вайнбергу и Шелдону Глэшоу, который построил схожую единую теорию. Однако сам Глэшоу заметил, что Нобелевский комитет рисковал, так как у нас до сих пор нет достаточно мощных ускорителей, чтобы разогнать частицы и проверить эту теорию в режиме, когда единство между электромагнитными си-

лами, заключенными в фотоне, и слабыми силами, заключенными в W^+ , W^- и Z^0 , действительно имеет место. Такой мощный ускоритель будет готов через несколько лет, и многие физики верят, что он подтвердит теорию Салама — Вайнберга*.

Успех теории Салама — Вайнберга привел к поиску схожей ренормализационной теории сильных взаимодействий. Довольно скоро стало ясно, что протоны и другие адроны, такие как пи-мезон, не могут быть поистине элементарными частицами, а должны быть связанными состояниями других частиц, называемых кварками. Последние, похоже, обладали любопытным свойством: хотя они довольно свободно двигались внутри адрона, оказалось невозможным получить собственно один кварк, — они всегда выходили либо группами по три (как протон или нейтрон), либо парами, состоящими из кварка и антикварка (подобно пи-мезону). Чтобы объяснить это, кварк наделили свойством, названным цветом. Следует подчеркнуть, что это свойство не имеет ничего общего с обычным пониманием цвета, — кварки слишком малы, чтобы увидеть их в видимом свете, это просто условный термин. Идея заключается в том, что кварки бывают трех цветов — красного, зеленого и голубого, но любое изолированное связанное состояние, такое как адрон, должно быть бесцветным или являть собой комбинацию красного, зеленого и голубого, как протон, или смесь красного и антикрасного, зеленого и антизеленого, голубого и антиголубого, как пи-мезон.

* Фактически частицы W и Z наблюдались в лаборатории CERN в Женеве в 1983 г., и в 1984 г. другая Нобелевская премия была присуждена Карло Руббиа и Симону ван дер Меру, которые руководили группой, сделавшей это открытие. А Хофт эту премию упустил.

Предполагалось, что сильные взаимодействия между кварками осуществляются частицами со спином 1, так называемыми глюонами, довольно похожими на частицы, несущие слабые взаимодействия. Глюоны также имеют цвет и вместе с кварками подчиняются ренормализационной теории, называемой квантовой хромодинамикой, или, для краткости, КХД. Последовательность ренормализационной процедуры состоит в том, что эффективная константа связи теории зависит от энергии, на которой она измеряется, а на очень больших энергиях она уменьшается до нуля. Данный феномен известен как асимптотическая свобода. Это означает, что кварки внутри адрона при высокоэнергетических столкновениях ведут себя почти так же, как свободные частицы, поэтому к их поведению можно с успехом применять теорию возмущений. Предположения теории возмущений довольно хорошо согласуются с результатами наблюдений, но нельзя сказать, что эта теория получила экспериментальное подтверждение. На малых энергиях эффективная константа связи становится очень большой, и теория возмущений не срабатывает. Есть надежда, что это «инфракрасное рабство» объяснит, почему кварки всегда заключены в бесцветных связанных состояниях, но пока еще никто не сумел убедительно это продемонстрировать.

Построив одну ренормализационную теорию для сильных взаимодействий, а другую для слабых и электромагнитных, было естественно поискать теорию, которая бы объединила эти две. Этим теориям дали довольно преувеличенное название «великие обобщенные теории». Это название несколько сбивает с толку, потому что они и не великие, и не полностью

обобщенные, и не совсем теории, поскольку в них содержится множество неопределенных ренормализационных параметров, таких как константы связи и массы. Тем не менее они, возможно, стали знаменательным шагом по направлению к единой теории. Основная идея состоит в том, что константа связи сильных взаимодействий, большая на малых энергиях, на высоких энергиях постепенно уменьшается вследствие асимптотической свободы. С другой стороны, эффективная константа связи в теории Салама — Вайнберга, малая на низких энергиях, на высоких постепенно возрастает, поскольку эта теория не является асимптотически свободной. Если экстраполировать низкоэнергетический коэффициент и уменьшать константы связи, то обнаружится, что две константы связи становятся равными на энергии порядка 10^{15} ГэВ (ГэВ — гигаэлектронвольт — это миллиард электронвольт, что примерно равно энергии, которая высвободилась бы, если бы один атом водорода полностью преобразовать в энергию. Для сравнения: энергия, выделяемая при химических реакциях, таких как горение, равняется приблизительно одному электронвольту на атом). Данные теории предполагают, что выше этой энергии сильные взаимодействия объединяются со слабыми и электромагнитными, но на меньших энергиях имеет место спонтанное нарушение симметрии.

Энергия в 10^{15} ГэВ находится за пределами возможности лабораторного оборудования; нынешнее поколение ускорителей может произвести энергию центра масс около 10 ГэВ, а следующее поколение сможет произвести примерно 100 ГэВ. Этого хватит, чтобы исследовать энергии, при которых электромагнитные

силы, согласно теории Салама — Вайнберга, должны объединяться со слабыми взаимодействиями, но это не та гигантская энергия, когда слабые и электромагнитные взаимодействия должны объединяться с сильными взаимодействиями. Тем не менее «великие обобщенные теории» могут предсказать кое-что доступное для проверки в лаборатории. Например, эти теории предсказывают, что протон не должен быть совершенно стабилен, а должен распадаться со временем жизни порядка 10^{31} лет. Нижний предел современных лабораторных исследований времени жизни равен примерно 10^{30} лет, и должна быть возможность его улучшить.

Другое предположение, которое можно проверить, касается соотношения во Вселенной адронов и фотонов. Для частиц и античастиц должны быть одни и те же физические законы. Точнее, они должны быть теми же самыми, если частицы заменить античастицами, правое заменить левым и скорости всех частиц заменить на обратные. Это известно как теорема СРТ, и она является следствием из базового допущения, которое должно содержаться в любой осмысленной теории. И все же Земля, а на самом деле и вся Солнечная система, сделана из протонов и нейтронов, без антипротонов и антинейтронов. В самом деле, такой дисбаланс между частицами и античастицами есть еще одно априорное условие нашего существования, так как, если бы Солнечная система состояла из равной смеси частиц и античастиц, они бы аннигилировали друг с другом и осталось бы одно излучение. Из наблюдаемого отсутствия такого аннигиляционного излучения мы можем заключить, что наша Галактика полностью состоит скорее из частиц, чем из античастиц. У нас нет прямого свидетельства насчет других галактик, но ка-

жется вероятным, что они состоят из частиц и что во Вселенной в целом частицы преобладают над античастицами — примерно в соотношении одна античастица к 10^8 частиц. Это можно принять в расчет, прибегнув к человеческому принципу, но «великие обобщенные теории» действительно дают механизм для объяснения такого дисбаланса. Хотя все взаимодействия, похоже, инвариантны к комбинациям C (замена частиц античастицами), P (зеркальное отражение, левые и правые меняются местами) и T (изменение направления движения всех частиц на обратное), известны взаимодействия, не инвариантные только к T . В ранней Вселенной, где существует явно выраженное направление времени, заданное расширением, эти взаимодействия могут порождать больше частиц, чем античастиц. Однако число, которое они дают, очень зависит от модели, так что соответствие с наблюдениями вряд ли можно считать подтверждением «великих обобщенных теорий».

Пока что большинство усилий было направлено на то, чтобы обобщить первые три категории физических взаимодействий — сильные и слабые ядерные силы и электромагнетизм. Последней, четвертой, — гравитацией — пренебрегали. Одним из оправданий было то обстоятельство, что гравитация слишком слаба, и потому квантовый гравитационный эффект будет большим только на энергиях частиц выше достижимых на каком-либо ускорителе. Другое оправдание — что гравитация вряд ли ренормализуема: для получения конечного ответа, похоже, придется делать бесконечное число бесконечных вычитаний с соответственно бесконечным числом неопределенных конечных остатков. И все же, если мы хотим получить действительно

всеобщую теорию, сюда надо включить и гравитацию. К тому же классическая общая теория относительно-сти говорит, что должны существовать пространственно-временные сингулярности с бесконечно сильным гравитационным полем. Такие сингулярности имели место в начале нынешнего расширения Вселенной (Большой Взрыв) и, видимо, могут проявиться в будущем при гравитационном коллапсе звезд и, возможно, самой Вселенной. Вообще наличие сингулярностей ставит под сомнение классическую теорию. Однако не видно причины, почему она должна оказаться неверной, пока гравитационные поля не усилятся настолько, чтобы квантовый гравитационный эффект оказался существенным. Таким образом, квантовая теория гравитации является неотъемлемой частью общей теории, если мы хотим описать раннюю Вселенную и затем как-то объяснить начальные условия, а не просто прибегать к человеческому принципу.

Такая теория также нужна, если мы хотим ответить на вопрос: действительно ли время имеет начало и, возможно, конец, как это предсказывает классическая общая теория относительности, или сингулярности в Большом Взрыве и Большом Сжатии некоторым образом смазываются квантовыми эффектами? Это слишком трудный вопрос, чтобы ответить на него определенно, когда само строение пространства и времени подчиняется принципу неопределенности. Лично я ощущаю, что сингулярности, вероятно, все же существуют, хотя в математическом смысле время можно продолжить за них. Однако всякое время в субъективном понимании, относящееся к сознанию или способности производить измерения, должно когда-нибудь закончиться.

Каковы же перспективы создания квантовой теории гравитации и объединения ее с тремя другими категориями взаимодействий? Вся надежда, пожалуй, в дальнейшем обобщении общей теории относительности, называемом теорией супергравитации. В ней гравитация — частицы со спином 2, несущие гравитационное взаимодействие, — соотносится с другими полями, описываемыми частицами с меньшим спином с помощью так называемых суперсимметричных трансформаций. Основное достоинство этой теории в том, что она уводит нас от старой дихотомии между «материей», представленной частицами с половинными спинами, и «взаимодействиями», представленными частицами с целочисленными спинами. Ее огромным преимуществом является и то, что бесконечности, возникающие в квантовой теории, взаимно отменяют друг друга. Отменяются ли все они, давая теории что-то конечное без бесконечных вычитаний, — это пока неизвестно. Есть надежда, что да, так как можно показать, что теории, включающие гравитацию, или конечны, или неренормализуемы, то есть если производить бесконечные вычитания, придется делать бесконечное число их с соответственно бесконечным числом неопределенных остатков. Таким образом, если все бесконечности в супергравитации окажутся взаимно отменены, мы могли бы получить теорию, не только полностью объединяющую все материальные частицы и взаимодействия, но и завершенную в том смысле, что она не будет иметь неопределенных по величине параметров ренормализации.

Хотя мы еще не имеем подходящей квантовой теории гравитации, не говоря уж о теории, обобщающей и другие физические взаимодействия, у нас есть идея

относительно некоторых особенностей, которые она должна иметь. Одна из них связана с тем фактом, что гравитация влияет на случайные структуры пространства-времени, то есть гравитация определяет, какие события могут случайно связываться с другими. Пример этого в классической общей теории относительности — черные дыры, представляющие собой область пространства-времени, где гравитационное поле так сильно, что свет или другие сигналы затягиваются туда и не могут выскользнуть во внешний мир. Это интенсивное гравитационное поле около черной дыры приводит к возникновению пар частица-античастица, одна из которых падает в черную дыру, а другая улетает в бесконечность. Улетающие частицы словно бы излучаются черной дырой. Удаленный от черной дыры наблюдатель может измерять только вылетающие частицы и не может связывать их с упавшими в черную дыру, потому что не наблюдает их. Это означает, что вылетающие частицы имеют повышенный уровень случайности или непредсказуемости по сравнению с тем, который обычно связан с принципом неопределенности. В нормальных ситуациях принцип неопределенности подразумевает возможность точно предсказать *или* положение, *или* скорость частицы, *или* сочетание положения и скорости. Таким образом, грубо говоря, способность делать определенные утверждения делится пополам. Однако в случае с частицами, вылетевшими из черной дыры, невозможность наблюдать происходящее в черной дыре означает, что нельзя определенно предсказать *ни* положение, *ни* скорость вылетающих частиц. Все, что можно сказать, — это вероятности, с которыми частицы вылетают в определенных режимах.

Представляется, что, даже если мы построим единую теорию, то, возможно, сумеем сделать только статистические утверждения. Нам также придется отказаться от точки зрения, что существует лишь одна Вселенная, которую мы наблюдаем. Вместо этого придется привыкнуть к картине, где существуют всевозможные вселенные с некоторым вероятностным распределением. Это могло бы объяснить, почему Вселенная началась с Большого Взрыва в условиях почти совершенного термического равновесия, так как оно относилось бы к наибольшему числу микроскопических конфигураций и, следовательно, к наибольшей вероятности. Перефразируя вольтеровского Панглоса, можно сказать, что «мы живем в наиболее вероятном из возможных миров».

Каковы же перспективы, что мы построим завершенную единую теорию в не слишком отдаленном будущем? Каждый раз, когда мы распространяем наши наблюдения на меньший масштаб и более высокие энергии, мы открываем новые структурные уровни. В начале века открытие броуновского движения с типичной энергией частиц в 3×10^{-2} эВ показало, что материя не непрерывна, а состоит из атомов. Чуть позже было открыто, что эти предположительно неделимые атомы состоят из электронов, вращающихся вокруг ядра с энергией в несколько электронвольт. Ядро, в свою очередь, оказалось состоящим из так называемых элементарных частиц, протонов и нейтронов, удерживаемых вместе ядерными связями порядка 10^6 эВ. Далее мы обнаружили, что протоны и электроны состоят из кварков, удерживаемых вместе связями с энергией порядка 10^9 эВ. И свидетельством того, как далеко мы зашли в теоретической физике,

стали гигантские машины и куча денег на эксперименты, результаты которых мы предсказать не можем.

Исходя из прошлого опыта, можно было бы предположить, что существует бесконечная последовательность структурных уровней со все более и более высокой энергией. В самом деле, такой взгляд на бесконечную регрессию ящиков в ящиках был официальной догмой в Китае при Банде Четырех. Однако похоже, что гравитация должна обеспечить какой-то предел, но только в очень малом масштабе расстояний, порядка 10^{-33} см, или при очень высокой энергии — порядка 10^{28} эВ. При масштабах меньше этого можно ожидать, что пространство-время перестанет вести себя как континуум и из-за квантовых флуктуаций гравитационного поля превратится в пенообразную структуру.

Существует очень большая неисследованная область между нашим нынешним экспериментальным пределом примерно в 10^{10} эВ и гравитационным ограничением в 10^{28} эВ. Предположение, которое делают «великие обобщенные теории», а именно что в таком огромном интервале существует только один или два структурных уровня, может показаться наивным. Однако есть почва для оптимизма. В данный момент, по крайней мере, представляется, что гравитацию можно обобщить с другими физическими взаимодействиями только в какую-либо теорию «супергравитации». Оказалось, что число таких теорий конечно. В частности, самая большая из них — так называемая расширенная супергравитация с $N = 8$. Она содержит в себе один гравитон, семь частиц со спином $3/2$, названных гравитиносами, двадцать восемь частиц со спином 1, пятьдесят шесть частиц со спином $1/2$ и семьдесят частиц со

спином 0. Как ни велики эти цифры, они не так огромны, чтобы мы не смогли объяснить все частицы, которые, похоже, наблюдаем в сильных и слабых взаимодействиях. Например, теория с $N = 8$ имеет двадцать восемь частиц со спином 1. Их достаточно, чтобы объяснить глюоны, несущие сильные взаимодействия, и две частицы из четырех, несущих слабые взаимодействия, но не оставшиеся две. Поэтому придется поверить, что многие или большинство из наблюдаемых частиц, такие как глюоны или кварки, в действительности не элементарные частицы, как кажется в настоящий момент, а связанные состояния фундаментальных частиц теории с $N = 8$. Если спроецировать нынешние экономические тенденции на будущее, не верится, что мы получим достаточно мощные ускорители, способные в обозримом будущем или вообще когда-либо прозондировать эти составные структуры. Тем не менее тот факт, что эти связанные состояния возникают из четкой теории с $N = 8$, позволяет нам сделать множество предположений, которые можно проверить на энергиях, доступных уже сейчас или в ближайшем будущем. Низкоэнергетические предсказания данной теории так хорошо согласуются с наблюдениями, что эта теория сейчас в целом принята, хотя мы еще не достигли энергии, при которой можно делать обобщение.

В описывающей Вселенную теории должно быть что-то очень четкое. Почему эта теория должна войти в жизнь, в то время как остальные теории существуют лишь в умах их изобретателей? Теория супергравитации с $N = 8$ имеет несколько заявлений, выделяющих ее из остальных. Похоже, она может оказаться единственной теорией, которая: а) работает в четырех измерениях,

б) охватывает гравитацию, в) конечно без каких-либо бесконечных вычитаний.

Я уже указал, что если нам нужна завершенная теория без всяких параметров, третье свойство необходимо. Однако первые два трудно объяснить, не прибегая к человеческому принципу. Похоже, что есть непротиворечивая теория, удовлетворяющая требованиям а) и б), но не охватывающая гравитацию. Однако в такой Вселенной, вероятно, не найдется притягивающих сил, достаточных, чтобы собрать материю в большие массы, что, вероятно, необходимо для развития сложных структур. Вопрос, почему пространство-время должно быть четырехмерным, обычно считается вне компетенции физики. Однако для этого тоже есть хороший аргумент, опирающийся на человеческий принцип. Трех измерений для пространства-времени — то есть двух для пространства и одного для времени — явно не хватает для сложного организма. С другой стороны, если бы пространство имело более трех измерений, орбиты планет вокруг Солнца или электронов вокруг ядра были бы нестабильны и по спирали сходили бы внутрь. Это оставляет возможность для более чем одного измерения времени, но я из тех, кому такую Вселенную вообразить слишком трудно.

Пока что я косвенно допустил, что окончательная теория в принципе может существовать. Но так ли это? Есть по крайней мере три возможности:

1. Может быть единая завершенная теория.
2. Не может быть никакой окончательной теории, но может быть бесконечная последовательность таких теорий, что каждый частный класс наблюдений можно предсказать, взяв из цепи достаточно продвинутую теорию.

3. Не может быть никакой теории. Наблюдения нельзя описать или предсказать дальше определенной точки, за которой они становятся непредсказуемыми.

Третья точка зрения выдвигалась как аргумент против ученых XVII и XVIII веков: как могут они формулировать законы, ограничивающие свободу Бога передумать? Тем не менее они сформулировали, и это сошло им с рук. В нынешние времена возможность 3 мы уничтожили, охватив ее схемой: квантовая механика является ярким примером теории того, чего мы не знаем и не можем предсказать.

Возможность 2 дает нам картину бесконечной последовательности структур все более и более высокой энергии. Как я уже сказал, это представляется маловероятным, так как можно предположить, что на энергии Планка, порядка 10^{28} эВ, будет предел. Это оставляет нам возможность 1. В данный момент единственным реальным кандидатом является теория супергравитации с $N = 8^*$. Может быть, в ближайшие годы будет сделано множество важных расчетов, которые, возможно, покажут несостоятельность этой теории. Если же она выдержит эти проверки, вероятно, пройдет еще несколько лет, прежде чем мы разработаем вычислительные

* Теории супергравитации представляются единственными теориями частиц со свойствами а), б) и в), но с тех пор, как это было написано, появился огромный интерес к так называемым «сверхструнным» теориям. В них основным объектом являются не точечные частицы, а протяженные объекты вроде маленьких петель или струн. Идея состоит в том, что частицы только кажутся нам частицами, а в действительности являются колебаниями петель. Эти сверхструнные теории на низком энергетическом пределе, похоже, сводятся к теории супергравитации, но пока что от них не было большой пользы при выдвижении экспериментально проверяемых предположений.

методы, которые позволят нам что-то предсказывать, и прежде чем мы сможем объяснить начальные условия Вселенной так же, как частные физические законы. Это будет основной проблемой для физиков-теоретиков на следующую пару десятилетий. Но чтобы не заканчивать на такой несколько панической ноте, скажу, что им вряд ли понадобится существенно больше времени. Сейчас огромную помощь в исследованиях оказывают компьютеры, но их должен направлять человеческий разум. Однако если экстраполировать скорость их развития в последнее время, может показаться вполне реальным, что в будущем они целиком возьмут на себя теоретическую физику. Так что, возможно, уже виден конец если не теоретической физики, то физиков-теоретиков.

МЕЧТА ЭЙНШТЕЙНА

В первые годы XX века две новые теории совершенно изменили наше представление о пространстве и времени, да и о самой реальности тоже. Более чем через семьдесят пять лет мы все еще осознаем их смысл и пытаемся обобщить их в единую теорию, которая опишет все во Вселенной. Эти две теории — общая теория относительности и квантовая механика. Общая теория относительности имеет дело с пространством и временем: как они в большом масштабе искривляются и деформируются материей и энергией во Вселенной. Квантовая механика имеет дело с малыми масштабами. Она включает в себя так называемый принцип неопределенности, утверждающий, что одновременно нельзя точно измерить и положение, и скорость частицы, — чем точнее измеряешь одно, тем менее точно измеряешь другое. Всегда есть элемент неопределенности или случайности, и это фундаментальным образом влияет на поведение материи в малом масштабе. Эйнштейн почти единолично создал общую теорию относительности и сыграл важную роль в развитии квантовой механики. Его чувства к последней выражаются фразой «Бог не играет в кости». Но все свидетельствует о том, что Бог — заядлый игрок, и при всякой возможности Он бросает кости.

В данном эссе я попытаюсь изложить основные идеи, стоящие за этими теориями, и объяснить, почему Эйнштейн был так недоволен квантовой механикой. Я также опишу некоторые примечательные моменты, которые, похоже, имеют место при попытках объединить эти две теории. Существует утверждение, что время началось примерно пятнадцать миллиардов лет назад и что когда-то в будущем оно может закончиться. И все же в другом виде времени Вселенная не имеет границ. Она не возникла и не исчезнет. Она просто есть.

Начну с теории относительности. Государственные законы действуют лишь в одной стране, но физические законы одинаковы и в Британии, и в Соединенных Штатах, и в Японии. Они действуют и на Марсе, и в туманности Андромеды. Более того: законы всё те же, с какой бы скоростью мы ни двигались. Законы на сверхскоростном экспрессе или на реактивном самолете такие же, что и для тех, кто стоит на месте. В действительности, конечно, стоящий неподвижно на Земле движется вокруг Солнца со скоростью примерно 18,6 мили (30 км) в секунду. Но все это движение не имеет никакого значения для физических законов — они одни и те же для всех наблюдателей.

Эта независимость от скорости системы впервые была открыта Галилеем, который разработал законы движения таких объектов, как пушечное ядро или планета. Однако когда люди попытались распространить эту независимость от скорости наблюдателя на законы движения света, возникла проблема. В XVIII веке было открыто, что свет распространяется от источника до наблюдателя не мгновенно, он движется с определенной скоростью — около 186 000 миль (300 000 км)

в секунду. Но относительно *чего* эта скорость? Казалось, что во всем пространстве должна быть какая-то среда, через которую проходит свет. Эту среду называли эфиром. Идея заключалась в том, что свет со скоростью 186 000 миль в секунду распространяется в эфире, и это означало, что наблюдатель, неподвижный относительно эфира, измерит скорость света, равную примерно 186 000 милям в секунду, а наблюдатель, движущийся в эфире, измерит бо́льшую или меньшую скорость. Однако в 1887 году тщательный эксперимент, выполненный Майкельсоном и Морли, показал, что скорость света неизменна. Не важно, с какой скоростью движется наблюдатель, — он всегда измерит скорость света, равную 186 000 милям в секунду.

Как это может быть? Как могут наблюдатели, движущиеся с разными скоростями, измерять одну и ту же скорость? Ответ один: этого не может быть — если только наши обычные представления о пространстве и времени верны. Однако в своей знаменитой статье, написанной в 1905 году, Эйнштейн указал, что все пресловутые наблюдатели могут измерять одну и ту же скорость света, если отказаться от идеи об универсальном времени. Вместо этого у каждого из них будет свое индивидуальное время, измеренное их часами. Если часы движутся относительно друг друга медленно, время, измеренное разными часами, будет почти точно совпадать, но если они движутся с большой скоростью, время будет существенно отличаться. Такой эффект был действительно замечен путем сравнения часов, помещенных на земле и на авиалайнере, — часы на лайнере несколько отстали по сравнению с неподвижными. Однако для обычных скоростей передвижения разница в ходе часов очень мала. Чтобы добавить

к вашей жизни одну секунду, вам придется пролететь вокруг земли 400 миллионов раз, но все эти самолетные завтраки сократят вашу жизнь гораздо значительнее.

Как людям, движущимся с разными скоростями, сохранить собственное индивидуальное время, чтобы измерить одну и ту же скорость света? Скорость импульса света — это расстояние, которое он проходит между двумя событиями, деленное на временной интервал между этими событиями (событием в данном случае мы считаем нечто, имеющее место в одной точке пространства в определенный момент времени). Люди, движущиеся с разными скоростями, не сойдутся во мнении насчет расстояния между двумя событиями. Например, если я измеряю скорость автомобиля, едущего по дороге, то могу подумать, что он проехал всего один километр, но для наблюдателя на Солнце он переместился на 1800 километров, потому что, пока автомобиль ехал по дороге, Земля переместилась. Поскольку люди движутся с разными скоростями, измеряя разное расстояние между событиями, они должны также измерять разные интервалы времени, если сходятся насчет скорости света.

Первоначальная теория относительности Эйнштейна, выдвинутая им в статье 1905 года, теперь называется специальной теорией относительности. Она описывает, как объекты передвигаются в пространстве и времени, и показывает, что время — не универсальная величина, существующая сама по себе, отдельно от пространства. А будущее и прошлое — это просто направления, как верх и низ, право и лево, вперед и назад, в так называемом пространстве-времени. Во времени вы можете двигаться только в направлении будущего, но *можете* двигаться немного под углом

к нему. Вот почему время может проходить с разными коэффициентами.

Специальная теория относительности Эйнштейна объединила время с пространством, но пространство и время по-прежнему оставались фоном, на котором происходили события. Вы можете выбирать, в каком направлении двигаться в пространстве-времени, но не можете ничего сделать, чтобы изменить предысторию пространства и времени. Однако все изменилось, когда в 1915 году Эйнштейн сформулировал общую теорию относительности. Он выдвинул революционную идею, что гравитация — это не просто сила, действующая в фиксированном пространстве-времени, а *искривление* пространства-времени, вызванное массой и заключенной в ней энергией. Объекты, например пушечные ядра, и планеты пытаются двигаться сквозь пространство-время по прямой, но поскольку пространство-время не прямое, а искривлено, изогнуто, траектории искривляются. Земля пытается двигаться через пространство-время по прямой, но его искривление, вызванное массой Солнца, заставляет ее двигаться по кругу. Подобным же образом свет пытается двигаться по прямой, но искривление пространства-времени вблизи Солнца заставляет свет далеких звезд загибаться при прохождении рядом. Но во время затмения, когда большая часть солнечного излучения задерживается Луной, свет этих звезд можно наблюдать. Эйнштейн создал свою общую теорию относительности во время Первой мировой войны, не в самых благоприятных условиях для наблюдений, но сразу же после войны британская экспедиция, наблюдая затмение 1919 года, подтвердила предположение общей теории относительности: пространство-время

не прямое, а искривляется заключенными в нем материей и энергией.

Это был величайший триумф Эйнштейна. Его открытие совершенно изменило наше представление о пространстве и времени. Они больше не были пассивным фоном, на котором происходят события. Мы больше не можем представлять пространство и время как длящиеся вечно, независимо от того, что происходит во Вселенной. Это динамические величины, которые сами влияют на события, а происходящие в них события в свою очередь влияют на них.

Важным свойством массы и энергии является то, что они всегда положительны. Вот почему гравитация всегда притягивает тела друг к другу. Например, земная гравитация притягивает нас даже на обратной стороне Земли. Вот почему жители Австралии с нее не падают. Аналогично гравитация Солнца удерживает планеты на орбитах и не дает Земле улететь в темноту или межзвездное пространство. Согласно общей теории относительности, тот факт, что масса всегда положительна, означает, что пространство-время искривляется внутрь себя, как земная поверхность. Если бы масса была отрицательной, пространство-время искривлялось бы по-другому, как седлообразная поверхность. Это положительное искривление пространства-времени, отражающее факт гравитационного притяжения, представлялось Эйнштейну большой проблемой. Тогда было широко распространено мнение, что Вселенная статична, однако если пространство, а особенно время искривляются внутрь себя, как же может Вселенная вечно оставаться в более-менее неизменном состоянии, в том же, что и сейчас?

Первоначальная Эйнштейнова формула общей теории относительности предсказывала, что Вселенная

либо расширяется, либо сжимается. Поэтому Эйнштейн добавил в формулу дополнительное условие, связывающее массу и энергию во Вселенной с искривлением пространства-времени. Это так называемое космологическое условие имело отталкивающий гравитационный эффект. Таким образом становилось возможным уравновесить притяжение материи отталкиванием космологического условия. Другими словами, отрицательное искривление пространства-времени, вызванное космологическим условием, могло компенсировать положительное искривление, вызванное массой и энергией Вселенной. Это позволило получить модель Вселенной, остающейся вечно в одном и том же состоянии. Если бы Эйнштейн настоял на своей первоначальной формуле, не вводя космологического условия, он бы предсказал, что Вселенная или расширяется, или сжимается. А так никто не думал, что она изменяется со временем, до 1929 года, пока Эдвин Хаббл не открыл, что удаленные галактики движутся от нас. Вселенная расширяется. Позднее Эйнштейн назвал космологическое условие «величайшей ошибкой в своей жизни».

Но с космологическим условием или без такового, тот факт, что материя заставляет пространство-время искривляться внутри себя, оставался проблемой, хотя не все это признавали. Из него следовало, что материя может искривить область внутри себя настолько, что эта область окажется изолированной от остальной Вселенной. Она превратилась бы в то, что мы называем черной дырой. Объекты могли бы падать в черную дыру, но ничто не могло бы вырваться оттуда. Чтобы вырваться, объекту пришлось бы двигаться со сверхсветовой скоростью, чего теория относительности не

позволяла. Таким образом, материя внутри черной дыры оказалась бы в ловушке и сжалась бы до какого-то неведомого состояния с чрезвычайно большой плотностью.

Эйнштейна очень беспокоил вывод об этом коллапсе, и он отказался поверить, что такое случается. Но в 1939 году Роберт Оппенгеймер показал, что старые звезды, более чем вдвое превышающие массой Солнце, неизбежно коллапсируют, когда выработают все свое ядерное топливо. Потом вмешалась война, Оппенгеймер был вовлечен в проектирование атомной бомбы и потерял интерес к гравитационному коллапсу. Других ученых больше заботила физика, которую можно изучать на Земле. Они не верили предсказаниям о далеких уголках Вселенной, так как казалось, что их нельзя проверить наблюдениями. Однако в шестидесятых годах огромный прогресс в широте и качестве астрономических наблюдений вызвал новый интерес к гравитационному коллапсу и к ранней Вселенной. Что же точно предсказывала общая теория относительности Эйнштейна насчет этих ситуаций, оставалось неясно, пока Роджер Пенроуз и я не доказали несколько теорем. Эти теоремы показали, что из факта искривления пространства-времени внутрь себя вытекает, что должны быть сингулярности — места, где пространство-время имеет начало и конец. Оно должно было иметь начало в Большом Взрыве примерно пятнадцать миллиардов лет назад и должно закончиться коллапсом звезды, когда все упавшее в черную дыру сжавшаяся звезда оставит в прошлом.

Тот факт, что общая теория относительности Эйнштейна предсказывала неизбежность существования сингулярностей, привел к кризису физики. Уравнения

общей теории относительности, связывающие искривление пространства-времени с распределением массы и энергии, теряют смысл в сингулярной точке. Это означает, что общая теория относительности не может предсказать, что получается из сингулярности. В частности, общая теория относительности не может предсказать, как должна возникать Вселенная при Большом Взрыве. Таким образом, общая теория относительности — не завершенная теория. Ее нужно дополнить некоторой составляющей, которая определила бы, что происходит, когда материя коллапсирует под действием собственной гравитации.

Необходимой дополнительной составляющей представляется квантовая механика. В 1905 году, в тот же год, когда написал свою статью о специальной теории относительности, Эйнштейн также написал о феномене, называемом фотоэлектрическим эффектом. Было замечено, что, когда свет падает на определенные металлы, выделяются заряженные частицы. Удивительно в этом было то, что, если интенсивность света снижалась, число выделенных частиц тоже уменьшалось, но скорость, с которой они вылетали, оставалась прежней. Эйнштейн показал, что это можно объяснить, если свет поглощается не в произвольных количествах, как все мы полагали, а лишь набором пакетов строго определенного размера. Идея о том, что свет существует в виде пакетов, названных квантами, была предложена несколькими годами раньше немецким физиком Максом Планком. Это смахивает на супермаркет, когда вам говорят, что нельзя купить сахара столько, сколько вам нужно, а только в расфасовке по килограмму. Планк воспользовался идеей о квантах просто для объяснения того, почему раскаленный докрасна

кусок металла не выдает сразу бесконечное количество энергии, но он рассматривал кванты всего лишь как теоретическую хитрость, которую не соотносил с чем-либо в физической реальности. Статья Эйнштейна показала, что возможно непосредственно наблюдать отдельный квант. Каждая излучаемая частица соотносилась с одним квантом света, падающего на металл. Это было широко признано как очень важный вклад в квантовую теорию, что принесло Эйнштейну Нобелевскую премию 1922 года (ему следовало дать Нобелевскую премию за общую теорию относительности, но мысль, что пространство и время искривляются, все еще считалась слишком умозрительной и парадоксальной, так что вместо этого ему дали премию за фотоэлектрический эффект, — но нельзя сказать, что это само по себе не заслуживало Нобелевской премии).

Полные выводы из фотоэлектрического эффекта не были сделаны до 1925 года, когда Вернер Гейзенберг указал, что лежащие в его основе представления не позволяют точно измерить положение частицы. Чтобы увидеть, где находится частица, нужно посветить на нее. Но Эйнштейн показал, что нельзя взять очень малое количество света, а придется использовать целый пакет — один квант. Такой пакет света подвинет частицу и придаст ей скорость в некотором направлении. Чем точнее вы хотите измерить положение частицы, тем большую энергию пакета вам придется использовать и тем большее возмущение он придаст частице. Какие бы измерения с частицей вы ни пытались произвести, неопределенность ее положения, умноженная на неопределенность скорости, всегда будет больше некой определенной величины.

Принцип неопределенности Гейзенберга показал, что нельзя точно измерить состояние системы, а потому невозможно предсказать вероятность различных последствий. И вот этот-то элемент случайности или вероятности очень озаботил Эйнштейна. Он отказывался верить, что физические законы не могут точно и однозначно предсказать, что произойдет. Но все свидетельствовало о том, что от феномена кванта и принципа неопределенности никуда не деться и что они заняли свое место во всех отраслях физики.

Общая теория относительности Эйнштейна — это так называемая классическая теория, то есть она не включает в себя принцип неопределенности. Поэтому требуется найти новую теорию, которая охватила бы общую теорию относительности и принцип неопределенности. В большинстве ситуаций разница между этой новой теорией и классической теорией относительности будет весьма мала. Дело в том, что, как было замечено ранее, неопределенность, вызванная квантовым эффектом, существует только в очень малом масштабе, в то время как общая теория относительности имеет дело со строением пространства-времени в очень большом масштабе. Однако теоремы сингулярности, доказанные Роджером Пенроузом и мной, показали, что пространство-время окажется сильно искривленным и в очень малом масштабе. Действие принципа неопределенности станет тогда очень важным и, наверное, приведет к некоторым замечательным результатам.

Проблемы Эйнштейна с квантовой механикой и принципом неопределенности частично возникали из-за того, что он пользовался обычным, основанным на здравом смысле понятием, что система имеет определенную предысторию. Частица находится либо в одном

месте, либо в другом. Она не может быть наполовину в одном месте, наполовину в другом. Аналогично событие вроде посадки астронавтов на Луну или имело место, или нет. Оно не могло состояться наполовину. Это все равно что быть отчасти мертвым или отчасти беременной. Тут либо да, либо нет. Но если система имеет единственную, определенную предысторию, принцип неопределенности приводит ко всевозможным парадоксам, таким как нахождение частицы сразу в двух местах или как астронавты, наполовину достигшие Луны.

Изящный способ избежать этих парадоксов, так тревоживших Эйнштейна, выдвинул американский физик Ричард Фейнман. Фейнман стал известен в 1948 году своей работой по квантовой теории света. В 1965 году он вместе с другим американским физиком, Джулианом Швингером, и японским физиком Синисиро Томонага получил Нобелевскую премию. Но Фейнман был настоящим физиком в традициях Эйнштейна и ненавидел помпу и интриги. Он отказался от членства в Национальной Академии наук, так как обнаружил, что большую часть времени академики проводят, решая, кого из ученых принять в Академию. Фейнман, умерший в 1988 году, запомнится большим вкладом в теоретическую физику. Одним из его достижений являются носящие его имя диаграммы, ставшие основой почти для всех расчетов в физике частиц. Но еще более важный вклад — его концепция суммы предысторий. Идея заключалась в том, что система не имеет единственной предыстории в пространстве-времени, как принято считать в классической неквантовой теории. Вместо этого она имеет все возможные предыстории. Рассмотрим для примера частицу, находящуюся

в определенное время в точке A . Согласно сумме предыстории она может двигаться по *любому* пути, начинающемуся в этой точке. Это вроде того как капнуть чернилами на промокашку. Частицы чернил расплзутся по промокашке во все стороны. Даже если вы прервете прямой путь между двумя точками, прорезав бумагу, чернила распространятся за ее края.

С каждым путем или предысторией частицы можно ассоциировать число, зависящее от формы пути. Вероятность того, что частица пройдет из точки A в точку B , получается путем суммирования чисел, ассоциированных со всеми путями, ведущими частицу из точки A в точку B . Но числа от прямых путей сложатся с числами от почти прямых путей. Таким образом, главный вклад в вероятность будет сделан прямыми или почти прямыми путями. Вот почему след от частицы, проходящей через пузырьковую камеру, выглядит почти прямым. Но если вы вставите в разрез на пути частицы нечто вроде стенки, пути частиц могут распространиться в обход стенки, и может появиться вероятность обнаружить частицы в стороне от прямого направления через разрез.

В 1973 году я начал исследовать, какое влияние принцип неопределенности окажет на частицу в искривленном пространстве-времени вблизи черной дыры. Довольно примечательно мое открытие, что черная дыра не будет совершенно черной. Принцип неопределенности позволит частицам и излучению постоянно выскальзывать из нее. Этот результат стал для меня и всех прочих полным сюрпризом и был встречен общим недоверием. Но задним числом он показался очевидным. Черная дыра — это область пространства, из которого невозможно вырваться, если двигаешься со

скоростью меньше скорости света. Но Фейнманова сумма предысторий говорит, что частицы могут выбрать *любой* путь через пространство-время. Следовательно, частица может двигаться быстрее света. Вероятность того, что она преодолеет длинное расстояние со сверхсветовой скоростью, мала, но частица может пролететь достаточно, чтобы вырваться из черной дыры, а потом снизить свою скорость до досветовой. Таким образом, принцип неопределенности позволяет частицам вырваться из, казалось бы, последнего узилища — из черной дыры. Вероятность того, что частица вырвется из черной дыры массой с Солнце очень мала, потому что ей придется преодолеть со сверхсветовой скоростью несколько километров. Но могут существовать гораздо меньшие черные дыры, сформировавшиеся в ранней Вселенной. Эти первобытные черные дыры могут быть по размеру меньше атомного ядра, но их масса может достигать миллиардов тонн — как масса горы Фудзи. Они могут производить столько же энергии, как большая электростанция. Вот бы найти такую черную дыру и запрячь ее энергию! К сожалению, похоже, по Вселенной их разбросано не так уж много.

Предсказание излучения из черной дыры было первым нетривиальным результатом от сочетания общей теории Эйнштейна с принципом квантования. Это показало, что гравитационный коллапс не такой уж тупик, как казалось раньше. Частицы в черной дыре не обязаны заканчивать свою историю в сингулярности. Вместо этого они могут вырваться из черной дыры и продолжить свою историю снаружи. Возможно, квантовый принцип означает, что также можно избежать всех историй, берущих начало в точке творения при Большом Взрыве.

На этот вопрос ответить гораздо труднее, потому что он требует применения квантового принципа к структуре самих пространства и времени, а не к путям частиц на данном пространственно-временном фоне. Что тут нужно — так это определить способ суммирования предысторий не только для частиц, но для самой ткани пространства и времени. Мы пока еще не знаем, как их просуммировать, но определенно знаем свойства этого суммирования. Одно из них заключается в том, что суммировать проще, если оперировать с предысториями в так называемом мнимом, а не в обычном, реальном времени. Мнимое время — сложное для усвоения понятие, и оно, возможно, доставит больше всего трудностей читателям моей книги. За использование понятия «мнимое время» меня также яростно критиковали философы. Как мнимое время может иметь что-то общее с реальной Вселенной? Думаю, эти философы не поняли уроков истории. Когда-то казалось очевидным, что Земля плоская, а Солнце вращается вокруг нее, но со времен Коперника и Галилея мы привыкли к мысли, что Земля круглая и вращается вокруг Солнца. Долго казалось очевидным и то, что время идет одинаково для всех наблюдателей, но после Эйнштейна нам пришлось признать, что время для разных наблюдателей течет по-разному. Также казалось очевидным, что Вселенная имеет единственную историю, но после открытия квантовой механики нам приходится считать, что Вселенная имеет все возможные истории. Я хочу предположить, что идея мнимого времени — это тоже нечто такое, что нам придется принять. Это интеллектуальный скачок того же порядка, как и вера в то, что Земля круглая. Думаю, что мнимое время станет таким же естественным, какой является

круглая Земля. На свете осталось не много верящих в плоскую Землю.

Вы можете представлять обычное, реальное время горизонтальной линией, идущей слева направо. Ранние времена слева, поздние справа. Но вы можете представить другое направление времени — вверх и вниз. Это так называемое мнимое направление времени, под прямым углом к реальному времени.

Какова главная причина введения понятия мнимого времени? Почему бы не придерживаться обычного, реального времени, которое нам известно? Причина в том, как отмечалось ранее, что материя и энергия стремятся заставить пространство-время искривляться внутрь себя. В направлении реального времени это неизбежно ведет к сингулярностям — местам, где пространство-время приходит к своему концу. В сингулярностях физические законы не определены, поэтому нельзя предсказать, что произойдет. Но направление мнимого времени направлено перпендикулярно реальному. Это означает, что оно ведет себя схоже по отношению к трем измерениям, соответствующим движению в пространстве. Искривление пространства-времени, вызванное материей Вселенной, может привести к тому, что три пространственных измерения и направление мнимого времени снова встретятся по другую сторону. Они образуют замкнутую поверхность, подобную поверхности Земли. Три направления пространства и одно мнимого времени образуют пространство-время, замкнутое в себе, без границ и краев. Оно не будет иметь точки, которую можно было бы назвать началом или концом, как не имеет начала и конца земная поверхность.

В 1983 году Джим Хартл и я предложили не брать сумму историй Вселенной в реальном времени, а скла-

дывать истории во мнимом времени, где они замыкаются наподобие земной поверхности. Поскольку эти истории не имеют никаких сингулярностей и у них нет начала и конца, происходящее в них будет полностью определяться физическими законами. Это означает, что все происшедшее во мнимом времени можно рассчитать. А если вы знаете историю Вселенной во мнимом времени, то можете рассчитать ее поведение и в реальном времени. Таким образом, есть надежда достичь завершенной полной теории, предсказывающей все во Вселенной. Эйнштейн провел последние годы своей жизни в поисках такой теории, но не нашел ее, потому что не доверял квантовой механике. Он был не готов признать, что Вселенная может иметь много альтернативных историй. Мы до сих пор не знаем, как должным образом просуммировать все истории Вселенной, но мы можем быть в достаточной степени уверены, что суммирование возьмет на вооружение мнимое время и идею о том, что пространство-время замыкается в себе. Думаю, эти концепции приведут к тому, что новое поколение воспримет эту идею так же естественно, как идею о круглой Земле. В научной фантастике мнимое время уже стало общим местом. Но это не просто научная фантастика или математический трюк. Это — нечто формирующее Вселенную, в которой мы живем.

ПРОИСХОЖДЕНИЕ ВСЕЛЕННОЙ

Вопрос о происхождении Вселенной немного схож с самой древней проблемой: что появилось сначала — курица или яйцо? Другими словами, какая сила создала Вселенную и что создало эту силу? Или, возможно, Вселенная или создавшая ее сила существовали всегда и не нуждались в создании? До недавнего времени ученые сторонились этих вопросов, чувствуя, что они относятся скорее к метафизике или религии, чем к науке. Однако в последние несколько лет получилось так, что научные законы могут охватить даже возникновение Вселенной. В таком случае Вселенная может быть самодостаточной и полностью определяться научными законами.

Споры о том, возникла ли Вселенная когда-то и как она возникла, проходят через всю зафиксированную историю. Существовало две основные школы мышления. Многие ранние традиции, а также иудейская, христианская и мусульманская религии утверждали, что Вселенная была создана в сравнительно недалеком прошлом (в XVII веке епископ Ашер вычислил дату создания Вселенной — 4004 г. до н. э.; он пришел к этой цифре путем сложения возраста персонажей Ветхого Завета). Одним из фактов, взятых им для обоснования идеи о недавнем происхождении Вселенной, было признание того, что человечество очевидно развивается

в культуре и технике. Мы помним, кто первым выполнил такое-то действие или развил такой-то метод. Таким образом, утверждается, мы не могли активно развиваться все время, иначе мы бы уже продвинулись гораздо дальше, чем продвинулись на самом деле. Действительно, библейская дата сотворения мира не так далека от даты окончания последнего ледникового периода, то есть даты, когда появился человек.

С другой стороны, были и такие люди, как греческий философ Аристотель, которым не нравилась мысль, что Вселенная когда-то возникла. Они чувствовали, что это подразумевает божественное вмешательство, и предпочитали верить, что Вселенная существовала всегда и будет существовать всегда. Сущестующее вечно совершеннее того, что пришлось создать. У них был ответ на приведенный выше аргумент о человеческом прогрессе: наводнения и другие природные катастрофы периодически отбрасывали человечество назад, к началу.

Общим было то мнение, что со временем Вселенная существенно не меняется. Или она была создана в том виде, как есть сейчас, или просто всегда была такой. Так считать было естественно, поскольку человеческая жизнь коротка и между рождением и смертью Вселенная значительно не изменялась. В статической, неизменной Вселенной вопрос о том, существовала она всегда или была создана конечное время назад, важен для метафизики и религии — обе могут заняться такой Вселенной. В самом деле, в 1781 году философ Иммануил Кант написал монументальный и весьма туманный труд «Критика чистого разума», в котором заключил, что есть равно здравые аргументы как в пользу того, что Вселенная имеет начало, так и того, что начала

у нее нет. Как предполагает название, его умозаключения основывались на «чистом разуме» — другими словами, никакие наблюдения Вселенной в расчет не принимались. В конце концов, что наблюдать в неизменной Вселенной?

Однако в XIX веке стали накапливаться свидетельства, что Земля и остальная Вселенная в действительности со временем изменяются. Геологи поняли, что формации скал и окаменелости насчитывают сотни и тысячи миллионов лет. Это значительно превосходило расчеты сторонников сотворения мира. Дальнейшие свидетельства поступили от так называемого второго закона термодинамики, сформулированного немецким физиком Людвигом Больцманом. Этот закон утверждает, что общее количество беспорядка во Вселенной (эту величину называют энтропией) со временем только возрастает. Это, как и аргумент насчет прогресса человечества, предполагает, что Вселенная развивается лишь какое-то конечное время. Иначе она бы уже деградировала до состояния полного беспорядка, где все имело бы одну и ту же температуру.

Другая проблема в идее о статической Вселенной заключалась в том, что, согласно Ньютону закону тяготения, каждая звезда во Вселенной должна притягиваться ко всем другим. А если так, как же они могут оставаться неподвижными, на постоянном расстоянии друг от друга? Не должны ли они собраться все вместе?

Ньютон осознавал эту проблему. В письме Ричарду Бентли, ведущему философу того времени, он согласился, что *конечное* число звезд не может оставаться неподвижным, — они все притянулись бы к какой-то

центральной точке. Однако, возразил он, бесконечное число звезд не собралось бы вместе, поскольку для них нет никакой центральной точки. Этот аргумент служит примером того, сколько ловушек можно встретить, говоря о бесконечных системах. Пробуя по-разному приложить к каждой звезде силы от бесконечного числа остальных звезд во Вселенной, можно получить разные ответы на вопрос, могут ли звезды оставаться на постоянном расстоянии друг от друга. Теперь мы знаем, что правильно будет рассмотреть случай *конечной* области звезд, а затем добавлять другие, распределенные приблизительно равномерно за пределами этой области. Конечное число звезд, согласно закону Ньютона, соберется вместе, и добавление других звезд за пределами области не остановит коллапса. Таким образом, бесконечное число звезд не может оставаться неподвижным. Если они хоть на мгновение остановятся относительно друг друга, взаимное притяжение заставит их начать падать друг на друга. Или же они могут двигаться друг от друга, и сила притяжения замедляет скорость их удаления.

Учитывая все проблемы в идее о статической и неизменной Вселенной, никто в XVII, XVIII, XIX и начале XX века не предполагал, что со временем она может получить свое развитие. И Ньютон и Эйнштейн упустили шанс предсказать, что Вселенная должна или сжиматься, или расширяться. Ньютона нельзя в этом упрекнуть, поскольку он жил за 250 лет до того, как наблюдения обнаружили ее расширение, но Эйнштейну следовало бы это знать. Общая теория относительности, сформулированная им в 1915 году, предсказала, что Вселенная должна расширяться. Но он по-прежнему был так убежден в ее статичности, что

добавил к своей теории элемент, примиряющий ее с теорией Ньютона и уравнивающий гравитацию.

Открытое в 1929 году Эдвином Хабблом расширение Вселенной полностью изменило характер дискуссии о ее происхождении. Если взять современные сведения о галактиках и пустить время вспять, окажется, что где-то между десятью и двадцатью миллиардами лет назад они все были в куче. В это время, во время взрыва сингулярности, называемого Большим Взрывом, плотность Вселенной и искривление пространства-времени должны были быть бесконечными. В таких условиях все известные научные законы должны были нарушаться. Для науки это катастрофа. Это означало бы, что наука сама по себе не может предсказать, как возникла Вселенная. Наука могла бы сказать лишь, что «Вселенная такова, какова она есть, потому что она была такой, какой была». Но наука не могла бы сказать, почему сразу после Большого Взрыва Вселенная была такой, какой была.

Ничего удивительного, что многих ученых не устраивал такой вывод, и потому было предпринято несколько попыток избежать заключения, что произошел Большой Взрыв сингулярности и с него началось время. Одной из теорий была так называемая теория устойчивого состояния. Идея заключалась в том, что, когда галактики разлетались друг от друга, в пространстве между ними из постоянно создававшейся материи возникали новые галактики. Тогда Вселенная могла бы существовать вечно почти в том же состоянии, какова она сегодня.

Чтобы Вселенная продолжала расширяться и создавалась новая материя, теория устойчивого состояния требовала несколько изменить общую теорию относи-

тельности, но скорость создания материи, согласно ей, должна была быть очень низкой — примерно одна частица на кубический километр в год, что не противоречило наблюдениям. Теория также предсказывала, что средняя плотность галактик и схожих объектов должна быть постоянной и во времени, и в пространстве. Однако наблюдение источников радиоволн вне нашей Галактики, проведенное Мартином Райлом и его группой в Кембридже, показало, что слабых источников больше, чем сильных. В среднем можно было бы ожидать, что слабые источники — это более удаленные. Тут было две возможности: или мы находимся в области Вселенной, где сильные источники встречаются реже, чем в среднем по Вселенной, или плотность источников была выше в прошлом, когда свет отправился к нам из более удаленных источников. Ни одна из этих возможностей не стыковалась с предсказаниями теории устойчивого состояния, предполагавшей, что плотность радиоисточников должна быть постоянной в пространстве и времени. Окончательным ударом по этой теории стало открытие, сделанное в 1964 году Арно Пенциасом и Робертом Уилсоном относительно происхождения микроволнового излучения, исходящего из отдаленных областей вне нашей Галактики. Оно имело характерный спектр излучения, исходящего от горячего тела, хотя в данном случае термин «горячее» вряд ли уместен, поскольку речь идет о температуре 2,7 градуса выше абсолютного нуля. Вселенная — холодное, темное место! В теории устойчивого состояния не было никакого осмысленного механизма для порождения микроволн с таким спектром. Поэтому от нее пришлось отказаться.

Другую идею, обходившуюся без Большого Взрыва сингулярности, предложили в 1963 году двое ученых

из России — Евгений Лифшиц и Исаак Халатников. Они говорили, что состояние бесконечной плотности может иметь место, только если галактики движутся строго друг к другу или друг от друга — лишь в этом случае когда-то в прошлом они могли быть все вместе. Но галактики имеют и некоторую скорость в сторону, и это дает возможность предположить, что в прошлом была какая-то фаза сжатия Вселенной, когда галактики находились очень близко друг от друга, но каким-то образом сумели не столкнуться. В таком случае Вселенная могла начать расширение, миновав фазу бесконечной плотности.

Когда Лифшиц и Халатников сделали свое предположение, я был аспирантом и подыскивал тему для диссертации. Меня заинтересовало, произошел ли в прошлом Большой Взрыв сингулярности, поскольку этот вопрос был решающим для понимания происхождения Вселенной. Вместе с Роджером Пенроузом мы разработали ряд новых математических приемов, чтобы оперировать с этой и схожими проблемами. Мы показали, что, если общая теория относительности верна, любая осмысленная модель Вселенной должна начинаться с сингулярности, а значит, наука может сказать, что Вселенная должна была иметь начало, но не может сказать, как она должна была начаться, — для этого нужно обратиться к Богу.

Было интересно наблюдать изменение отношения к сингулярностям. Когда я учился на последнем курсе университета, почти никто не воспринимал их всерьез. Теперь, благодаря теоремам сингулярности, почти все верят, что Вселенная возникла из сингулярности, где физические законы нарушаются. Однако теперь уже я думаю, что, хотя сингулярности и су-

ществуют, физические законы все же могут определить, как возникла Вселенная.

Общая теория относительности — это так называемая классическая теория, то есть она не принимает в расчет тот факт, что частицы не имеют точно определенного положения и скорости, а «размазаны» по маленькой области пространства принципом неопределенности квантовой механики, который не позволяет одновременно измерить и положение, и скорость. В обычных ситуациях это не имеет большого значения, потому что радиус искривления пространства-времени очень велик по сравнению с неопределенностью положения частицы. Однако теоремы сингулярности показывают, что в начале настоящей фазы расширения Вселенной пространство-время было сильно деформировано, с малым радиусом искривления. В этой ситуации принцип неопределенности очень важен. Таким образом, общая теория относительности, предсказывая сингулярности, можно сказать, ведет к собственному крушению. Чтобы обсуждать происхождение Вселенной, нам нужна теория, сочетающая общую теорию относительности и квантовую механику.

Таковой является теория квантовой гравитации. Мы еще точно не знаем, какую форму примет правильная теория квантовой гравитации. Лучшим кандидатом из имеющихся в настоящий момент является теория суперструн, но в ней еще есть ряд нерешенных проблем. Однако можно предположить, какие свойства будут наличествовать в любой жизнеспособной теории. Одно из них — идея Эйнштейна о том, что влияние гравитации можно представить как искривление или возмущение (искажение) пространства-времени материей и заключенной в ней энергией. Объекты стремятся

следовать за ближайшим телом по прямой в искривленном пространстве. Однако, поскольку оно искривлено, их пути оказываются изогнутыми словно бы гравитационным полем.

Другой ожидаемый элемент окончательной теории — это предположение Ричарда Фейнмана относительно того, что квантовую теорию можно сформулировать как «сумму предысторий». В простейшей форме идея заключается в том, что каждая частица имеет все возможные пути, или истории, в пространстве-времени. Каждый путь, или история, имеет некую вероятность, зависящую от его формы. Чтобы эта идея заработала, нужно рассмотреть истории во мнимом, а не в реальном времени, где мы якобы живем. Термин «мнимое время» напоминает нам научную фантастику, но на самом деле это хорошо проработанная математическая концепция. В некотором смысле мнимое время можно представить направлением времени, перпендикулярным к реальному времени. Складываются вероятности всех предысторий частицы с определенными свойствами, такими как прохождение через определенные точки в определенное время. Потом нужно экстраполировать результат обратно в реальное пространство-время, в котором мы живем. Это не самый известный подход к квантовой теории, но он дает те же результаты, что и другие методы.

В случае квантовой гравитации идея Фейнмана о сумме историй включает суммирование всевозможных историй по Вселенной — то есть разных искривленных пространств-времен. Они представляют собой историю Вселенной и всего сущего в ней. Тут придется определить, какой класс из возможных искривленных пространств включать в сумму историй. Выбор

этого класса пространств определяет, в каком состоянии находится Вселенная. Если в класс искривленных пространств, определяющий состояние Вселенной, войдут пространства с сингулярностями, то вероятность существования таких пространств не удастся определить теорией. Вместо этого вероятностям придется присвоить значения некоторым произвольным образом. Это означает, что наука не может предсказать вероятности таких сингулярных историй для пространства-времени. Таким образом, она не может сказать, как Вселенная должна себя вести. Возможно, однако, что Вселенная находится в состоянии, определяемом суммой, включающей в себя только несингулярные искривленные пространства. В таком случае научные законы объяснят Вселенную полностью, и чтобы определить, как она возникла, не нужно будет обращаться к какой-то внешней по отношению к ней силе. Предположение, что состояние Вселенной определяется суммой только несингулярных историй, в какой-то степени напоминает ситуацию с пьяным, ищущим свои ключи под фонарем: возможно, он потерял их не там, но это единственное место, где их можно найти. Аналогично, Вселенная может быть в состоянии, определяемом суммой не только несингулярных историй, но это единственное ее состояние, в котором наука может предсказать, какой она будет.

В 1983 году Джим Хартл и я предложили получать состояние Вселенной как сумму определенного класса историй. Этот класс состоял из искривленных пространств без сингулярностей, пространств конечного размера, но не имеющих краев и границ, вроде земной поверхности, но с еще двумя измерениями. Земная поверхность имеет конечную площадь, но не имеет

сингулярностей, краев и границ. Я проверил это экспериментально: объехал вокруг Земли и нигде с нее не упал.

Предложение, сделанное Хартлом и мной, можно перефразировать так: «Граничным условием Вселенной является то, что она не имеет границ». Только если Вселенная находится в безграничном состоянии, научные законы сами по себе определяют вероятности каждой возможной истории. Таким образом, только в этом случае известные законы определяют, как поведет себя Вселенная. Если она находится в каком-либо другом состоянии, класс искривленных пространств в сумме историй включит пространства с сингулярностями. Чтобы определить вероятности таких сингулярных историй, нужно призвать какой-то другой принцип, отличный от известных научных законов. Этот принцип будет чем-то внешним по отношению к Вселенной. Мы не можем вывести его из чего-то внутри нее. С другой стороны, если Вселенная находится в безграничном состоянии, теоретически мы могли бы полностью определить, как она поведет себя, с точностью, ограниченной принципом неопределенности.

Бесспорно, для науки было бы хорошо, если бы Вселенная была в безграничном состоянии, но как мы можем сказать, так ли это? Ответ заключается в том, что из предположения о безграничности Вселенной вытекают некоторые предсказания относительно того, как Вселенная должна себя вести. Если бы все эти предсказания не согласовались с наблюдениями, мы могли бы заключить, что Вселенная не находится в безграничном состоянии. Таким образом, предположение безграничности — это хорошая научная теория в смысле,

определенном философом Карлом Поппером: ее можно опровергнуть наблюдением.

Если наблюдения не сойдутся с предсказаниями, мы узнаем, что в классе возможных историй должны быть сингулярности. Однако это почти и всё, что мы узнаем. Мы не сможем рассчитать вероятности сингулярных историй, а значит, не сможем предсказать, как Вселенная должна себя вести. Можно подумать, что эта непредсказуемость не так уж много значит, если она имела место только во время Большого Взрыва, — ведь это было десять или двадцать миллиардов лет назад. Но если предсказуемость нарушилась в очень сильном гравитационном поле при Большом Взрыве, она также нарушится и при коллапсе каждой звезды. Это может случаться несколько раз в неделю только в нашей Галактике, и наша способность предсказывать окажется мала даже по стандартам метеопрогнозов.

Конечно, можно сказать, что нет нужды беспокоиться о нарушении предсказуемости на далеких звездах. Однако в квантовой теории все, что полностью не исключено, может случиться и случится. Следовательно, если класс возможных историй включает пространства с сингулярностями, эти сингулярности могут оказаться где угодно — не только при Большом Взрыве или коллапсе звезды. И наоборот, тот факт, что мы можем предсказать события, — это экспериментальное свидетельство против сингулярностей и за предположение безграничности.

Так что же предсказывает для Вселенной предположение безграничности? Прежде всего, поскольку все возможные истории для Вселенной в какой-то мере конечны, любая величина, используемая для измерения времени, будет иметь наибольшее и наименьшее

значение. Следовательно, Вселенная будет иметь начало и конец. Началом в реальном времени будет Большой Взрыв сингулярности. Однако начало во мнимом времени не будет сингулярностью, а будет отдаленно напоминать Северный полюс на Земле. Если за аналог времени взять долготу на поверхности времени, то можно сказать, что поверхность Земли начинается с Северного полюса. И все же Северный полюс — это самая обыкновенная точка на Земле. Точно так же событие, которому мы хотим присвоить имя «начало Вселенной во мнимом времени», будет обыкновенной точкой пространства-времени, такой же, как остальные. Научные законы будут выполняться в начале так же, как и где-либо еще.

По аналогии с поверхностью Земли можно ожидать, что конец Вселенной будет напоминать начало, так же как Северный полюс напоминает Южный. Однако Северный и Южный полюсы соотносятся с началом и концом истории Вселенной во мнимом времени, а не в реальном, в котором мы живем. Если экстраполировать результаты суммирования историй во мнимом времени на реальное время, окажется, что начало Вселенной в реальном времени может сильно отличаться от ее конца.

Вместе с Джонатаном Галливеллом мы провели приблизительный расчет, что же влечет за собой условие безграничности. Мы оперировали со Вселенной как с совершенно гладким и однообразным фоном, на котором есть малые возмущения плотности. В реальном времени может представиться, что Вселенная начала расширяться с очень маленького радиуса. В первых, расширение будет, так сказать, инфляционным, то есть размер Вселенной будет удваиваться за

крошечную долю секунды, как цены в некоторых странах удваиваются каждый год. Мировой рекорд экономической инфляции, вероятно, поставила Германия после Первой мировой войны, когда цена буханки хлеба подскочила за месяц от одной марки до миллиона. Но это ничто по сравнению с инфляцией, случившейся при возникновении Вселенной: ее размер увеличивался в геометрической прогрессии с коэффициентом миллион миллионов миллионов миллионов миллионов раз за крошечную долю секунды. Конечно, это было еще до прихода нынешнего правительства.

Инфляция была хороша тем, что произвела Вселенную, гладкую и однообразную в большом масштабе, которая, чтобы избежать повторного коллапса, расширялась с критической скоростью. Инфляция также была хороша тем, что производила все содержимое Вселенной буквально из ничего. Когда Вселенная была одиночной точкой вроде Северного полюса, в ней не было ничего, а теперь в той части Вселенной, что мы можем наблюдать, содержится по меньшей мере 10^{80} частиц. Откуда же взялись все эти частицы? Ответ заключается в том, что теория относительности и квантовая механика позволяют материи возникать из энергии в форме пар частица-античастица. А откуда взялась энергия на создание этой материи? Ответ таков: она была позаимствована из гравитационной энергии Вселенной. Вселенная взяла в долг огромное количество отрицательной гравитационной энергии, которая точно уравнивала положительную энергию материи. Во время инфляции Вселенная делала огромные долги у гравитационной энергии, чтобы финансировать создание новой материи. В результате восторжествовала кейнсианская экономика: получилась

сильная экспансивная Вселенная, полная материальных объектов. А долг гравитационной энергии не будет погашен до скончания Вселенной.

Ранняя Вселенная не могла быть совершенно однородной и равномерной, потому что это нарушило бы существующий в квантовой механике принцип неопределенности. В ней должны были быть отклонения от равномерной плотности. Предположение безграничности подразумевает, что эти различия в плотности имеются уже в своем первоначальном состоянии, то есть они, согласно принципу неопределенности, должны быть насколько возможно малы. Однако в течение инфляционного расширения эти различия будут увеличиваться. Когда период инфляционного расширения закончится, мы окажемся во Вселенной, которая кое-где расширяется быстрее, а кое-где медленнее. В областях более медленного расширения гравитационное притяжение материи будет замедлять дальнейшее расширение. В конце концов, такие области прекратят расширяться и сожмутся в виде галактик и звезд. Следовательно, предположение безграничности позволяет объяснить все сложные структуры, которые мы видим вокруг. Однако оно не может дать для Вселенной одного-единственного предсказания, а дает целое семейство возможных историй, каждая со своей вероятностью. Возможна история, в которой на последних выборах в Великобритании победила лейбористская партия, хотя вероятность такой истории мала.

Предположение безграничности имеет глубокий смысл для оценки роли Бога в делах Вселенной. Теперь в основном признано, что Вселенная развивается согласно четко определенным законам. Эти законы могли быть установлены Богом, но, похоже, Он больше

не вмешивается в жизнь Вселенной, чтобы их нарушить. Дело Бога было завести часы и запустить ее так, как Ему заблагорассудилось; в таком случае нынешнее состояние Вселенной было бы результатом Божьего выбора начальных условий.

Однако если нечто вроде предположения безграничности верно, ситуация была бы совершенно иной. В этом случае законы физики выполнялись бы даже при возникновении Вселенной, и Бог не имел бы свободы выбора начальных условий. Конечно, Он все равно мог бы произвольно выбрать законы, правящие Вселенной, однако у Него не было бы обширного выбора. Могло бы быть лишь небольшое число непротиворечивых законов, которые привели бы к возникновению таких сложных существ, как мы, чтобы задаться вопросом: какова природа Бога?

И даже если существует всего одно множество возможных законов, это всего лишь множество уравнений. Что же вдыхает в уравнения жизнь и создает Вселенную, чтобы они управляли ею? Эта окончательная единая теория так мощна, что стала причиной собственного существования? Хотя наука может решить вопрос, как Вселенная возникла, она не может ответить, почему Вселенная появилась. На этот вопрос я ответа не знаю.

КВАНТОВАЯ МЕХАНИКА И ЧЕРНЫЕ ДЫРЫ*

Первые тридцать лет XX века стали свидетелями появления трех теорий, радикально изменивших взгляд человека на физику и на саму реальность. Физики все еще пытаются изучить и собрать воедино их последствия. Эти три теории — специальная теория относительности (1905), общая теория относительности (1915) и теория квантовой механики (1926). Альберт Эйнштейн в большой степени разработал первую, полностью создал вторую и сыграл значительную роль в развитии третьей. И все же Эйнштейн никак не мог принять квантовую механику из-за наличия в ней элемента случайности и неопределенности. Его чувства выразились в часто цитируемой фразе: «Бог не играет в кости». Однако большинство физиков с готовностью приняли и специальную теорию относительности, и квантовую механику, потому что эти теории описывали прямо наблюдаемые эффекты. Общую же теорию относительности большинство оставили без внимания, потому что она представлялась слишком сложной в математическом смысле, ее было не проверить в лаборатории, и это была чисто классическая теория, то есть казалось, что она не стыкуется с квантовой ме-

* Статья, опубликованная в «Сайентифик Америкен» в январе 1977 г.

ханикой. Поэтому общая теория относительности была в загоне почти пятьдесят лет.

Огромное расширение астрономических наблюдений, начавшееся в шестидесятых годах, стало причиной возрождения интереса к классической теории относительности, так как оказалось, что многие ранее неизвестные явления, такие как квазары, пульсары и компактные источники рентгеновского излучения, говорят о существовании очень сильных гравитационных полей, описать которые может лишь общая теория относительности. Квазары — это похожие на звезды объекты, которые должны быть в несколько раз ярче целых галактик, если они в самом деле удалены на то расстояние, о котором говорит смещение их спектра к красному краю; пульсары — это быстро мигающие остатки взрыва сверхновой, предположительно сверхплотные нейтронные звезды; компактные источники рентгеновского излучения, открытые приборами с космических кораблей, могут быть тоже нейтронными звездами или, возможно, гипотетическими объектами еще большей плотности, а именно черными дырами.

Одной из проблем, с которой столкнулись физики, старавшиеся применить общую теорию относительности к этим открытым или гипотетическим объектам, стали попытки состыковать ее с квантовой механикой. За последние несколько лет были проведены работы, дающие надежду на то, что не так далеко время, когда мы получим полную непротиворечивую теорию гравитации, согласующуюся с общей теорией относительности для макроскопических объектов и, можно надеяться, свободную от математических бесконечностей, преследующих другие квантовые теории поля. Эти работы основаны на некоторых недавно открытых квантовых

эффектах, имеющих отношение к черным дырам, что обеспечивает замечательную связь черных дыр с законами термодинамики.

Позвольте мне кратко описать, как могли возникнуть черные дыры. Представьте себе звезду с массой в десять раз больше солнечной. Большую часть своей жизни, то есть около миллиарда лет, звезда генерирует в своих недрах тепло, преобразуя водород в гелий. Высвобожденная энергия создает достаточное давление, чтобы уравнивать созданную звездой силу тяжести и поддерживать размеры звезды с радиусом примерно в пять раз больше солнечного. Скорость для отрыва от поверхности такой звезды будет около 1000 км/с. То есть объект, выстреленный с поверхности звезды вертикально вверх со скоростью меньше 1000 км/с, будет притянут гравитационным полем звезды назад и вернется на поверхность, в то время как объект, вылетевший с большей скоростью, улетит в бесконечность.

Когда звезда выработает все свое ядерное топливо, ничто уже не сможет поддерживать внутреннее давление, и под действием собственной силы тяжести она начнет сжиматься. По мере сжатия звезды сила тяжести на ее поверхности становится все больше и необходимая для отрыва скорость возрастает. Когда радиус уменьшится до 30 км, необходимая для отрыва скорость достигнет 300 000 км/с — скорости света. После этого никакой свет, испускаемый звездой, не сможет уйти в бесконечность, а будет притягиваться обратно гравитационным полем. Согласно специальной теории относительности, ничто не может двигаться быстрее света, так что если не может вырваться свет, то не может и ничто другое.

В результате получается черная дыра — область пространства-времени, откуда ничто не может улететь в бесконечность. Границы черной дыры называются горизонтом событий. Он соответствует фронту тех световых волн от звезды, которым не удалось улететь в бесконечность, но которые и не упали обратно, а парят на радиусе Шварцшильда: $2 GM/c$, где G — ньютонова гравитационная константа, M — масса звезды, а c — скорость света. Для звезды примерно в десять масс Солнца радиус Шварцшильда составляет около 30 км.

Существуют довольно убедительные наблюдения, позволяющие предположить, что черные дыры примерно такого размера существуют как источник рентгеновского излучения в системе двойной звезды, известной под именем X-1 Лебедя. Может быть также огромное множество разбросанных по Вселенной очень маленьких черных дыр, которые образовались в результате коллапса не звезды, а сильно сжатой области в горячей плотной среде, предположительно существовавшей вскоре после Большого Взрыва, из которого произошла Вселенная. Такие «первобытные» черные дыры представляют огромный интерес с точки зрения их квантового эффекта, который я опишу ниже. Черная дыра весом в миллиард тонн (примерно масса горы) имела бы радиус около 10^{-13} сантиметра (размер нейтрона или протона). Она могла бы двигаться по орбите вокруг Солнца или центра Галактики.

Первый намек, что между черными дырами и термодинамикой может существовать связь, сделало математическое открытие 1970 года, утверждающее, что площадь поверхности горизонта событий, границ черной

дыры, обладает свойством всегда возрастать, когда в черную дыру падает дополнительная материя или излучение. Более того, если две черные дыры столкнутся и сольются в одну, площадь горизонта событий вокруг этой новой черной дыры будет больше, чем сумма площадей двух первоначальных. Эти свойства предполагают, что между площадью горизонта событий черной дыры и понятием энтропии в термодинамике существует сходство. Энтропию можно рассматривать как меру беспорядка системы или, что то же самое, как недостаток знаний о ее точном состоянии. Знаменитый второй закон термодинамики гласит, что энтропия со временем всегда возрастает.

Аналогию между свойствами черной дыры и законами термодинамики расширили Джеймс М. Бардин из Вашингтонского университета, Брендон Картер, работающий сейчас в Мьюдонской обсерватории, и я. Первый закон термодинамики гласит, что малое изменение энтропии системы сопровождается пропорциональным изменением энергии системы. Коэффициент пропорциональности называется температурой системы. Бардин, Картер и я нашли схожий закон, касающийся изменения массы черной дыры и площади горизонта событий. Здесь коэффициентом пропорциональности является величина, называемая поверхностной гравитацией, которая является мерой силы гравитационного поля на горизонте событий. Если допустить, что площадь горизонта событий аналогична энтропии, то поверхностная гравитация окажется аналогичной температуре. Сходство усиливается тем фактом, что поверхностная гравитация оказывается одинаковой во всех точках горизонта событий, так же как при тепловом равновесии температура одинакова по всему телу.

Хотя между энтропией и площадью горизонта событий существует явное сходство, нам не очевидно, как площадь можно отождествлять с энтропией черной дыры. Что для черной дыры означает энтропия? Решающее предположение сделал в 1972 году Якоб Д. Бекенштейн, учившийся тогда на последнем курсе Принстонского университета, а ныне работающий в Негевском университете в Израиле. Суть примерно такова: когда в результате гравитационного коллапса получается черная дыра, она быстро устанавливается в стационарное состояние, характеризуемое всего тремя параметрами: массой, моментом импульса и электрическим зарядом. Кроме этих трех, черная дыра не сохраняет никаких других свойств сжавшегося объекта. Данное заключение, известное как теорема «Черная дыра не имеет волос», было подтверждено нашей совместной работой с Брендоном Картером, Вернером Израэлем из Альбертского университета и Дэвидом К. Робинсоном из лондонского Кингс-колледжа.

Из теоремы об отсутствии волос вытекает, что при гравитационном коллапсе теряется большой объем информации. Например, окончательное состояние черной дыры не зависит от того, состояло ли сжавшееся тело из материи или антиматерии, было ли оно круглым или совсем неправильной формы. Иными словами, черная дыра данной массы, момента импульса и электрического заряда может образоваться в результате коллапса любой одной или множества разных конфигураций материи. В самом деле, если пренебречь квантовыми эффектами, число конфигураций могло бы быть бесконечным, поскольку черная дыра может быть образована в результате коллапса целой тучи бесконечного числа частиц с бесконечно малой массой.

Из принципа неопределенности в квантовой механике, однако, следует, что частица с массой m ведет себя как волна с длиной h/mc , где h — постоянная Планка (малое число $6,62 \times 10^{-27}$ эрг-секунд), а c — скорость света. Чтобы облако частиц смогло сжаться в черную дыру, необходимо, чтобы эта длина волны была меньше, чем размер получившейся черной дыры. Таким образом оказывается, что число начальных состояний, из которых может сформироваться черная дыра с данными массой, моментом импульса и электрическим зарядом, хотя и очень велико, может быть конечным. Бекенштейн предположил, что логарифм этого числа можно интерпретировать как энтропию черной дыры. Логарифм этого числа будет мерой количества информации, безвозвратно теряемой за горизонтом событий во время коллапса при возникновении черной дыры.

Очевидным изъяном в предположении Бекенштейна было то обстоятельство, что если черная дыра имеет конечную энтропию, пропорциональную площади ее горизонта событий, она должна иметь и конечную температуру, пропорциональную ее поверхностной гравитации. Из этого можно сделать вывод, что черная дыра находится в равновесии с тепловым излучением при некоторой ненулевой температуре. Однако согласно классической концепции такое равновесие невозможно, поскольку черная дыра поглотила бы любое упавшее на нее тепловое излучение, но по определению не смогла бы выделить ничего взамен.

Этот парадокс оставался нерешенным до 1974 года, когда я исследовал, как будет вести себя материя вблизи черной дыры согласно квантовой механике. К своему великому удивлению, я обнаружил, что черная дыра постоянно испускает частицы. Как и все в то время,

я принимал без сомнений, что черная дыра не может ничего испускать. Поэтому я потратил очень много усилий, пытаясь избавиться от такого ошеломляющего эффекта. Однако он отказывался исчезать, и в конце концов мне пришлось его признать. Но что меня окончательно убедило в реальности этого физического процесса, так это тот факт, что вылетающие частицы имели в точности тепловой спектр: черная дыра создает и выделяет частицы, как обычное горячее тело с температурой, пропорциональной поверхностной гравитации и обратно пропорциональной массе. Это сделало предположение Бекенштейна о конечной энтропии черной дыры полностью непротиворечивым, поскольку получалось, что черная дыра может находиться в термическом равновесии при некоторой отличной от нуля температуре.

С тех пор математическая строгость того, что черная дыра может излучать тепло, была доказана многими другими людьми со множеством разных подходов. Один из способов понять это состоит в следующем. Квантовая механика утверждает, что все пространство заполнено парами из «виртуальных» частиц и античастиц, которые постоянно материализуются в пары, разделяются, а потом соединяются вновь и взаимно уничтожаются (аннигилируют). Эти частицы называются «виртуальными» в отличие от реальных, потому что их нельзя наблюдать прямо, посредством детектора частиц. Их косвенный эффект, тем не менее, можно измерить, и существование таких частиц было подтверждено небольшим смещением («смещением Ламба»), вносимым ими в спектр света от возбужденных атомов водорода. Теперь, при наличии черной дыры, один член такой пары «виртуальных» частиц может упасть

в дыру, оставив другого без партнера для аннигиляции. Оставленная в одиночестве частица или античастица может упасть в черную дыру вслед за партнером, но может и улететь в бесконечность, где покажется излучением черной дыры.

Другой способ взглянуть на этот процесс — считать члена пары частица-античастица, падающей в черную дыру (скажем, античастицу), реальной частицей, но идущей по времени в обратном направлении. Таким образом, античастицу, падающую в черную дыру, можно рассматривать как частицу, вылетающую из черной дыры, но в обратном времени. Достигнув точки, в которой пара частица-античастица изначально материализовалась, она рассеивается гравитационным полем так, чтобы двигаться по времени в прямом направлении.

Таким образом, квантовая механика позволяет частице вырваться из черной дыры, чего не допускает классическая механика. Однако в ядерной и атомной физике есть много других ситуаций, когда существует некоторый барьер, который по классическим принципам частицы преодолеть не могут, но через который могут проложить тоннель согласно принципам квантовой механики.

Толщина барьера вокруг черной дыры пропорциональна размеру черной дыры. Следовательно, только очень немногие частицы могут вырваться из такой большой черной дыры, каковой предположительно является X-I Лебедя, но из черных дыр поменьше частицы могут просачиваться весьма быстро. Тщательные расчеты показывают, что выпущенные частицы имеют тепловой спектр, соответствующий температуре, возрастающей с той же скоростью, с какой убывает масса

черной дыры. Температура черной дыры с массой Солнца составляет всего лишь одну десятиллионную градуса относительно абсолютного нуля. Тепловое излучение, покидающее черную дыру с такой температурой, совершенно поглотилось бы радиационным фоном Вселенной. С другой стороны, черная дыра с массой всего миллиард тонн, то есть первобытная черная дыра размером примерно с протон, имела бы температуру около 120 миллиардов градусов Кельвина, что соответствует энергии в несколько десятков миллионов электрон-вольт. При такой температуре черная дыра могла бы порождать электронно-позитронные пары и частицы нулевой массы, такие как фотоны, нейтрино и гравитоны (предположительно несущие гравитационную энергию). Первобытная черная дыра выделяла бы энергию с мощностью порядка 6000 мегаватт, что равно мощности шести больших ядерных электростанций.

Поскольку черная дыра испускает частицы, ее масса и размеры постоянно уменьшаются. Это облегчает другим частицам возможность проделать тоннель наружу, и потому эмиссия будет продолжаться, постоянно возрастая, пока в конце концов черная дыра не сойдет на нет. Таким образом, в конечном итоге все черные дыры во Вселенной испарятся, однако для этого понадобится действительно долгое время: черная дыра с массой Солнца просуществует 10^{66} лет. С другой стороны, первобытная черная дыра должна почти полностью испариться за десять миллиардов лет, что прошло со времени Большого Взрыва, когда, как нам известно, возникла Вселенная. Такие черные дыры теперь должны испускать жесткое гамма-излучение с энергией около 100 миллионов электрон-вольт.

Подсчеты, сделанные Доном Н. Пейджем, работавшим тогда в Калифорнийском технологическом институте, и мной, основывались на измерениях космического фона гамма-радиации со спутника SAS-2 и показали, что средняя плотность первобытных черных дыр должна была быть меньше, чем примерно двести дыр на кубический световой год. Локальная плотность в нашей Галактике могла быть в миллион раз больше этой величины, если бы первобытные черные дыры сконцентрировались в «гало» галактик — тонком облаке быстро движущихся звезд, куда погружена каждая галактика, — а не распределились бы равномерно по всей Вселенной. Из этого следует, что ближайшая к Земле первобытная черная дыра, вероятно, находится по меньшей мере на том же расстоянии, что и Плутон.

Последняя стадия испарения черной дыры происходит так быстро, что заканчивается страшным взрывом. Какова мощность этого взрыва, зависит от того, как много в черной дыре разновидностей элементарных частиц. Если, согласно широко распространенному сейчас мнению, все частицы состоят из шести разновидностей кварков, в последнем взрыве выделится энергия, равная энергии почти десяти миллионов водородных бомб мощностью в одну мегатонну каждая. С другой стороны, альтернативная теория, выдвинутая Р. Хейдждорном из CERN, Европейской организации по ядерным исследованиям в Женеве, утверждает, что существует бесконечное множество элементарных частиц все большей массы. По мере того как черная дыра делается все меньше и горячее, она испускает все больше и больше разнообразных частиц, и, возможно, взрыв окажется в 100 000 раз мощнее, чем рассчитанный на основе кварковой гипотезы. Поэтому наблюде-

ние взрыва черной дыры дало бы нам очень ценную информацию о физике элементарных частиц — информацию, которую не получить никаким иным способом.

Взрыв черной дыры произведет мощный выброс высокоэнергетичного гамма-излучения. Хотя его можно заметить детекторами гамма-лучей на спутниках или воздушных шарах, было бы непросто запустить детектор достаточного размера, чтобы получить существенный шанс уловить значительное число гамма-фотонов от одного взрыва. Возможно, когда-нибудь при помощи космического челнока удастся построить большой детектор гамма-лучей на орбите, но более легкой и дешевой альтернативой было бы использовать в качестве детектора верхние слои земной атмосферы. Высокоэнергетичные гамма-лучи, входя в атмосферу, произведут ливень электронно-позитронных пар, которые вначале будут проходить через атмосферу со скоростью выше скорости света (свет замедляется взаимодействием между молекулами). Таким образом, электроны и позитроны произведут нечто вроде звукового барьера, вроде ударной волны в электромагнитном поле. Такую ударную волну, называемую излучением Черенкова, можно выявить с земли как зримую световую вспышку.

Предварительные эксперименты Нейла А. Портера и Тревора К. Уикса из дублинского Университи-колледжа показали, что, если черные дыры взрываются так, как предсказывает теория Хейдждорна, за век в нашей области Галактики случается менее двух взрывов черной дыры на кубический световой год. Из этого следует, что плотность первобытных черных дыр меньше, чем 100 миллионов дыр на кубический световой год.

Наверное, существует возможность значительно увеличить чувствительность таких наблюдений, и даже если они не дадут никакого положительного свидетельства о первобытных черных дырах, то все равно будут представлять собой большую ценность. Если наблюдения установят низкий верхний предел плотности таких черных дыр во Вселенной, они покажут, что ранняя Вселенная должна была быть очень ровной и не турбулентной.

Большой Взрыв схож со взрывом черной дыры, но в гораздо большем масштабе. Поэтому можно надеяться, что, поняв, как черные дыры порождают частицы, мы придем к аналогичному пониманию, как Большой Взрыв породил все во Вселенной. В черной дыре материя сжимается и пропадает навек, но на ее месте возникает новая материя. Поэтому, может быть, существовала какая-то более ранняя фаза Вселенной, когда материя сжималась, чтобы опять возникнуть после Большого Взрыва.

Если материя, сжавшаяся в черную дыру, имела какое-то сальдо электрического заряда, получившаяся черная дыра будет иметь такой же заряд. Это означает, что черная дыра имеет тенденцию притягивать члены пар виртуальных частиц-античастиц с противоположным зарядом и отталкивать члены с таким же зарядом. Следовательно, черная дыра будет испускать преимущественно частицы с зарядом того же знака, что имеет сама, и быстро разрядится. Аналогично, если сжимающаяся материя имеет сальдо момента импульса, черная дыра будет вращаться и преимущественно испускать частицы, отбирающие ее момент импульса. Причина, почему черные дыры «запоминают» электрический заряд, момент импульса и массу сжимающейся материи, которая

«забывает» все остальное, заключается в том, что эти три величины сочетаются с полями, действующими на большом расстоянии: в случае заряда — с электромагнитным полем, а в случае момента импульса и массы — с гравитационным.

Эксперименты Роберта Х. Дика из Принстонского университета и Владимира Брагинского из Московского государственного университета показали, что не существует далеко действующих полей, которые соответствовали бы квантовому свойству, называемому барионным числом (барионы — это класс частиц, включающий в себя протоны и нейтроны). Следовательно, черная дыра, получившаяся в результате сжатия множества барионов, забудет свое барионное число и будет излучать равное количество барионов и антибарионов. Поэтому, когда черная дыра исчезнет, она нарушит один из самых нежно любимых законов физики частиц — закон сохранения барионов.

Хотя гипотеза Бекенштейна о конечной энтропии черных дыр для своей стройности требует, чтобы черные дыры излучали тепло, тем не менее, на первый взгляд, кажется истинным чудом, что тщательные расчеты квантовой механики, касающиеся возникновения частиц, говорят о появлении излучения с тепловым спектром. Объясняется это тем, что выпущенные частицы проделывают тоннель из черной дыры, о которой внешний наблюдатель не знает ничего, кроме ее массы, момента импульса и электрического заряда. Это означает, что все сочетания или конфигурации выпущенных частиц, имеющих одну и ту же энергию, момент импульса и электрический заряд, одинаково вероятны. В самом деле, возможно, что черная дыра выпустит телевизор или десятитомник Пруста в кожаном переплете, но число

конфигураций частиц, соответствующее таким экзотическим возможностям, бесконечно мало. Гораздо большее число конфигураций соответствует излучению со спектром, близким к тепловому.

Излучение черных дыр добавило еще большую степень неопределенности, или непредсказуемости, к той, что и так ассоциировалась с квантовой механикой. В классической механике можно предсказать результаты измерения как скорости, так и положения частицы. В квантовой механике принцип неопределенности гласит, что можно предсказать результат лишь одного из измерений — либо скорости, либо положения, но не обоих. Таким образом, способность наблюдателя делать определенные предсказания, по сути, урезается наполовину. С черными дырами ситуация еще хуже. Поскольку частицы, излученные черной дырой, приходят из области, о которой наблюдатель имеет ограниченные знания, он не может с определенностью предсказать ни скорость, ни положение частиц, ни какую-либо их комбинацию. Все, что он может предсказать, — это вероятность, с которой определенные частицы будут выпущены. И потому, кажется, Эйнштейн вдвойне ошибся, сказав: «Бог не играет в кости». Рассмотрев испускание частиц черной дырой, похоже, мы можем сказать, что Бог не только играет в кости, но порой еще и бросает их там, где никто не видит.

ЧЕРНЫЕ ДЫРЫ И МЛАДЕНЦЫ-ВСЕЛЕННЫЕ*

Падение в черную дыру стало одним из ужасов научной фантастики. На самом деле о черных дырах сейчас можно сказать, что это научный факт, а не фантастика. Как я покажу ниже, есть достаточные основания утверждать, что черные дыры должны существовать, и наблюдения четко указывают на присутствие в нашей Галактике множества черных дыр, а в других галактиках их еще больше.

Конечно, описывать, что происходит, когда падаешь в черную дыру, — это поистине раздолье для фантастов. Обычно предполагают, что если черная дыра вращается, то можно провалиться через дырочку в пространстве-времени и оказаться в другой части Вселенной. Это дает большие возможности для путешествий в космосе. И в самом деле, если путешествия на другие звезды, не говоря уж о других галактиках, в будущем окажутся осуществимыми на практике, нам понадобится нечто подобное. В противном случае тот факт, что ничто не может двигаться быстрее света, растянет путешествие к ближайшей звезде по меньшей мере лет на восемь. Многовато, чтобы провести выходные на Альфе Центавра! А вот если суметь нырнуть в черную дыру, то можно

* Хичкоковская лекция, прочитанная в Калифорнийском университете в Беркли в апреле 1988 г.

вынырнуть в любой точке Вселенной. Правда, не совсем ясно, каким образом выбрать место назначения: вы можете решить съездить на праздники в Вирго, а окажетесь в Крабовидной туманности.

Мне жаль разочаровывать галактических туристов, но этот сценарий не работает: если вы прыгнете в черную дыру, вас разорвет на части и расплющит так, что от вас ничего не останется. Однако в некотором смысле частицы, составляющие ваше тело, окажутся в другом мире. Не знаю, утешится ли превратившийся в спагетти в черной дыре сознанием того, что его частицы, возможно, уцелели.

Несмотря на мой легкомысленный тон, это эссе основано на строгой науке. С тем, что я здесь говорю, в основном согласно большинство других ученых, работающих в данной области, хотя к этому согласию они пришли не так уж давно. Однако последняя часть данного эссе основывается на совсем недавней работе, по которой пока что нет общего согласия. Но она вызывает большой интерес и привлекает к себе внимание.

Хотя понятие, называемое ныне черной дырой, появилось более двухсот лет назад, само название «черная дыра» было введено лишь в 1967 году американским физиком Джоном Уилером. Здесь была определенная доля гениальности: такое название гарантировало, что черные дыры войдут в мифологию научной фантастики. Оно также стимулировало научные исследования, дав имя тому, что раньше не имело удовлетворявшего всех названия. Не надо недооценивать важность хорошего имени в науке.

Насколько мне известно, первым начал обсуждать черные дыры некто по имени Джон Мичелл из Кембриджа, который в 1783 году написал о них статью. Его

идея была такова. Предположим, с поверхности Земли вы выстрелили ядром из пушки вертикально вверх. По мере подъема оно будет замедляться силой притяжения. В конце концов ядро остановится и начнет падать обратно. Однако если оно вылетит из пушки со скоростью больше некоторой критической величины, то никогда не остановится и не упадет, а продолжит свое движение вверх. Эта критическая скорость называется скоростью убегания, и для Земли она составляет 7 миль в секунду, а для Солнца — около 100 миль в секунду. Обе эти величины больше, чем скорость пушечного ядра, но гораздо меньше скорости света, равной 186 000 миль в секунду. Это означает, что гравитация не оказывает на свет существенного влияния, и он может без труда оторваться и от Земли, и от Солнца. Однако Мичелл сделал умозаключение, что может существовать звезда, достаточно массивная и достаточно маленькая по размеру, чтобы ее скорость убегания оказалась больше скорости света. Мы не сможем увидеть такую звезду, потому что свет с ее поверхности до нас не дойдет, а будет притягиваться обратно гравитационным полем. Однако ее присутствие можно обнаружить по воздействию ее гравитационного поля на окружающую материю.

На самом деле свет не совсем корректно сравнивать с пушечным ядром. Согласно эксперименту, проведенному в 1897 году, свет всегда движется с постоянной скоростью. Тогда как же гравитация может его замедлить? Стройной теории, как гравитация влияет на свет, не было до 1915 года, когда Эйнштейн сформулировал свою общую теорию относительности. И даже после этого выводы из его теории для старых звезд и других массивных тел не были сделаны до шестидесятых годов.

Согласно общей теории относительности, время и пространство вместе можно рассматривать как единое четырехмерное пространство, получившее название пространство-время. Это пространство не плоское, оно искажается, или искривляется, материей и заключенной в ней энергией. Мы наблюдаем это искривление по отклонению света и радиоволн, проходящих по пути к нам мимо Солнца. Когда свет проходит вблизи Солнца, отклонение очень мало. Однако если бы Солнце сжалось до размеров всего нескольких миль в поперечнике, отклонение было бы столь велико, что свет не смог бы улететь, а был бы притянут гравитационным полем. Согласно теории относительности, ничто не может двигаться быстрее света, поэтому образуется область, откуда не может вырваться ничто. Такая область называется черной дырой, а ее границы — горизонтом событий. Его образует свет, едва не вырвавшийся из черной дыры, но оставшийся парить на краю.

Предположение, что Солнце может сжаться до диаметра в несколько миль, может показаться смешным. Трудно допустить, что материя способна сжаться до такой степени. Но оказывается — способна.

Солнце имеет такие размеры, потому что оно горячее. Оно пережигает водород в гелий, как управляемая водородная бомба. Тепло, выделяемое в результате этого процесса, создает давление, позволяющее Солнцу противостоять собственной гравитации, которая стремится сжать его, сделать меньше.

Однако в конце концов у Солнца кончится ядерное топливо. Этого не случится еще примерно пять миллиардов лет, так что можно не спешить заказывать билет на другую звезду. Тем не менее звезды более массивные, чем Солнце, пережгут свой водород гораздо быстрее.

Когда топливо у них кончится, они начнут остывать и сжиматься. Если их масса по крайней мере вдвое превышает массу Солнца, они в конце концов прекратят сжиматься, и состояние их стабилизируется. Одни звезды в таком состоянии называются белыми карликами. Белый карлик имеет радиус в несколько тысяч миль и плотность в сотни тонн на кубический дюйм. Другие звезды в таком состоянии называются нейтронными звездами. Они имеют радиус около 10 миль и плотность в миллион тонн на кубический дюйм.

Мы наблюдаем большое число белых карликов в непосредственной близости от нашей Галактики. Нейтронные же звезды не наблюдались до 1967 года, пока Джойселин Белл и Энтони Хьюиш из Кембриджа не открыли объекты, названные пульсарами, которые испускали радиоволны регулярными импульсами. Сначала исследователи подумали, уж не установили ли они контакт с чужой цивилизацией, — я даже помню, что аудитория, где они объявили о своем открытии, была разукрашена фигурками «зеленых человечков». Однако под конец они сами и все остальные пришли к менее романтическому заключению, что эти объекты — вращающиеся нейтронные звезды. Такое заключение оказалось плохой новостью для создателей космических вестернов, но хорошей для нас, тех немногих ученых, кто верил тогда в черные дыры. Если звезды могут сжиматься до таких малых размеров, как 10 или 20 миль в поперечнике, и становиться нейтронными звездами, можно предположить, что другие смогли сжаться еще больше и превратиться в черные дыры.

Звезда с массой примерно вдвое больше массы Солнца становится белым карликом или нейтронной звездой. В некоторых случаях звезда может взорваться

и выбросить достаточно материи, чтобы ее масса стала меньше предельной. Но это случается не всегда. Некоторые звезды станут очень маленькими, и их гравитационное поле так искривит свет, что он упадет обратно на звезду. И больше ни свет, ни что-либо другое не сможет вырваться оттуда. Такие звезды станут черными дырами.

Физические законы симметричны во времени. Поэтому если существуют объекты, называемые черными дырами, в которые все может падать, но ничто не может вырваться, должны быть и другие объекты, из которых все может вылететь, но ничто не может в них упасть. Можно назвать их белыми дырами. Можно также порассуждать о том, что если прыгнуть в черную дыру в одном месте, то выйдешь из белой дыры в другом. Это был бы идеальный метод для вышеупомянутых дальних космических путешествий. Все, что вам понадобится, — это отыскать поблизости черную дыру.

На первый взгляд такая форма космических путешествий кажется возможной. В общей теории относительности Эйнштейна существуют решения, согласно которым можно упасть в черную дыру и выйти из белой дыры. Однако более поздняя работа показала, что все эти решения очень нестабильны: малейшее возмущение, такое как присутствие космического корабля, уничтожит «отверстие» — проход, ведущий из черной дыры в белую. Космический корабль был бы разорван бесконечно большими силами. Это вроде того, как путешествовать по Ниагаре в бочке.

После этого надежды почти не осталось. Черные дыры можно было бы использовать разве что для избавления от мусора или даже от некоторых друзей. Они были «страной, откуда не возвращаются». Однако все, что я

сказал до сих пор, основывалось на расчетах, использующих общую теорию относительности Эйнштейна. Эта теория прекрасно согласуется со всеми нашими наблюдениями. Но мы знаем, что она не может быть совершенно права, поскольку не охватывает принцип неопределенности квантовой механики. Принцип неопределенности гласит, что частицы не могут одновременно иметь и четко определенного положения, и четко определенной скорости. Чем точнее измеряешь положение частицы, тем менее точно измеряешь скорость, и наоборот.

В 1973 году я начал исследования, пытаюсь выяснить, какое значение имеет принцип неопределенности для черных дыр. К моему, да и ко всеобщему великому удивлению, обнаружилось, что вследствие этого принципа черные дыры должны быть не совсем черными. Они постоянно выделяют излучение и частицы. Когда я доложил о своих результатах на конференции под Оксфордом, они вызвали общее недоверие. Председатель сказал, что это нонсенс, и написал об этом статью. Однако, когда другие повторили мои расчеты, они обнаружили тот же самый эффект. Так что под конец даже председатель согласился с моей правотой.

Как может излучение вырваться из гравитационного поля черной дыры? Есть много путей понять это. И хотя они кажутся очень разными, на самом деле они эквивалентны. Один путь — осознать, что принцип неопределенности позволяет частицам на короткой дистанции двигаться быстрее света. Это, в свою очередь, позволяет им и излучению прорваться через горизонт событий и вырваться из черной дыры. Следовательно, из черной дыры что-то может исходить. Однако то, что выходит, будет сильно отличаться от того, что туда упало. Той же самой будет только энергия.

Поскольку черная дыра испускает частицы и излучение, она должна терять массу. От этого черная дыра должна становиться меньше и эмиттировать частицы с большей частотой. В конце концов она дойдет до нулевой массы и совсем исчезнет. Что же тогда случится с объектами, упавшими в черную дыру, включая, возможно, и космические корабли? Согласно некоторым моим недавним работам, ответ таков: они перейдут в собственную новорожденную вселенную. Маленькая замкнутая вселенная возникает из нашей области Вселенной. Эта вселенная может снова присоединиться к нашей области пространства-времени, при этом она покажется нам другой черной дырой, которая появилась, а потом испарилась. Частицы, упавшие в одну черную дыру, покажутся частицами, выпущенными из другой, и наоборот.

Звучит так, будто именно это и требуется, чтобы позволить космические путешествия через черные дыры. Вы просто направляете свой космический корабль в подходящую черную дыру. Впрочем, лучше в дыру побольше, а то гравитационные силы разорвут вас на части, превратив в спагетти, прежде чем вы проникнете внутрь. Потом вам останется надеяться, что вы явитесь вновь из какой-то другой дыры, но где — вы выбирать не сможете.

Однако в такой схеме межгалактической транспортировки существует загвоздка. Младенцы-вселенные, принимающие упавшие в дыру частицы, оказываются в так называемом мнимом времени. В реальном времени астронавта, упавшего в черную дыру, ждет неприятный конец. Его разорвет на части из-за разницы в гравитационных силах между головой и ногами. Не уцелеют даже частицы, составляющие его тело. Их

истории в реальном времени закончатся в сингулярности. Но во мнимом времени продолжатся. Они войдут в новорожденную вселенную и снова появятся как частицы, выпущенные другой черной дырой. Так что, в некотором смысле, астронавт перенесется в другую область Вселенной. Однако появившиеся частицы будут мало напоминать астронавта. А тот факт, что частицы уцелели во мнимом времени, будет для него слабым утешением, потому что в реальном времени он войдет в сингулярность. Девизом падающих в черную дыру должно быть: «Мыслите мнимо!»

Чем определяется то место, где частицы появятся вновь? Число частиц в младенческой вселенной будет равно числу частиц, упавших в черную дыру, плюс число частиц, выпущенных ею за время испарения. Это означает, что частицы, упавшие в черную дыру, выйдут из другой дыры, имеющей примерно ту же массу. Таким образом, можно попытаться выбрать, где частицы выйдут, создав черную дыру той же массы, как та, куда они зашли. Однако эта черная дыра может с таким же успехом выдать любой другой набор частиц с той же суммарной энергией. Даже если бы черная дыра выдавала частицы нужного вида, нельзя было бы сказать, те ли это частицы, что вошли в другую дыру. У частиц нет удостоверения личности — все частицы данного вида выглядят одинаково.

Из всего этого следует, что прохождение через черную дыру вряд ли окажется популярным и надежным способом космических путешествий. Во-первых, вам придется попасть туда, перемещаясь во мнимом времени и не заботясь о том, что ваша история в реальном времени печально закончилась. Во-вторых, на самом деле вы не смогли бы выбрать место назначения. Это

все равно что лететь по какой-то авиалинии, что взбрела вам в голову.

Возможно, молодые вселенные не будут использованы для космических путешествий, но они могут иметь большое значение в наших попытках построить завершенную единую теорию, которая опишет все во Вселенной. Существующие ныне теории содержат много величин, таких как размер или электрический заряд частицы. Значения этих величин наши теории не могут предсказать, они должны выбираться на основании наблюдений. Большинство ученых, однако, верят, что под всем этим лежит единая теория, которая предскажет все значения.

Такая основополагающая теория может быть. Сильнейший кандидат в настоящий момент носит название неоднородной сверхструнной теории. Ее идея заключается в том, что пространство-время наполнено маленькими петлями, вроде кусочков струны. То, что нам представляется элементарными частицами, на самом деле является маленькими петельками, по-разному вибрирующими. Данная теория не содержит никаких величин, значения которых можно уточнить. Поэтому можно предположить, что эта единая теория сможет предсказать значения всех величин, вроде электрического заряда частиц, еще не определенных в наших нынешних теориях. И хотя ни одну из указанных величин нам пока не удалось вывести из сверхструнной теории, многие верят, что в конце концов мы сможем это сделать.

Однако если данная картина младенцев-вселенных верна, наша способность предсказывать указанные величины будет снижена, потому что мы не можем наблюдать, сколько черных дыр существует во внешнем

мире, ожидая своей очереди присоединиться к нашей области Вселенной. В природе могут быть вселенные, содержащие всего несколько частиц. Эти вселенные так малы, что невозможно заметить их присоединения к нашему закоулку. Но присоединившись, они изменяют видимые значения величин, таких как электрический заряд частиц. Следовательно, мы не можем предсказать, каково будет видимое значение этих величин, так как не знаем, сколько вселенных ожидают своей очереди снаружи. Возможен взрыв рождаемости вселенных. Однако, в отличие от людей, у них, похоже, не будет ограничивающих факторов, таких как пропитание и место под солнцем. Младенцы-вселенные существуют в своем собственном царстве. Это напоминает вопрос, сколько ангелов может танцевать на кончике иглы.

Для большинства величин эти вселенные, похоже, введут конечную, хотя и довольно маленькую, неопределенность в предсказанных значениях. Однако они могут объяснить наблюдаемые значения очень важных величин — так называемых космологических констант. Это термин из уравнений общей теории относительности, дающий пространству-времени врожденную склонность расширяться или сжиматься. Первоначально Эйнштейн предложил для космологических констант очень малые значения в надежде уравновесить эту склонность материи, заставляющую Вселенную сжиматься. Такая мотивация исчезла, когда обнаружилось, что Вселенная расширяется. Но от этих констант оказалось не так-то просто избавиться. Можно было предположить, что флуктуации, подразумеваемые квантовой теорией, делают космологические константы очень большими. И все же мы можем наблюдать, как расширение Вселенной изменяется со временем, и таким

образом определить, что они очень малы. До сих пор не было удовлетворительного объяснения, почему наблюдаемое значение должно быть таким маленьким. Однако младенцы-вселенные, отпочковываясь и присоединяясь, будут влиять на наблюдаемое значение космологических констант. Поскольку мы не знаем, сколько таких вселенных существует, наблюдаемые космологические константы будут иметь различные возможные значения. Однако гораздо более вероятны значения, близкие к нулю. И это удача, потому что Вселенная годится для таких существ, как мы, только если они очень малы.

Подведем итог: представляется, что частицы могут падать в черную дыру, которая затем испаряется и исчезает из нашей области Вселенной. Частицы выходят во вселенные, которые отпочковываются от нашей Вселенной. Эти вселенные могут затем присоединиться где-нибудь еще. Возможно, они не пригодятся для космических путешествий, но их наличие означает, что мы сможем предсказать меньше, чем ожидали, даже если построим завершенную единую теорию. С другой стороны, теперь мы, возможно, сумеем объяснить измеренные значения некоторых величин, вроде космологических констант. В последние несколько лет многие ученые начали работать над младенцами-вселенными. Не думаю, что кто-нибудь сколотит себе состояние, запатентовав их как способ космических путешествий, но они уже стали захватывающей областью исследований.

ВСЕ ЛИ ПРЕДОПРЕДЕЛЕНО?*

В пьесе «Юлий Цезарь» Кассий говорит Бруту: «Порою люди — кузнецы своей судьбы». Но действительно ли мы кузнецы своей судьбы? Или все, что мы делаем, предопределено? Аргумент о предопределении использовался для подтверждения того, что Бог всемогущ и существует вне времени, и, стало быть, Бог заранее знает, что произойдет. Но тогда как мы можем обладать свободной волей? А если мы не обладаем свободной волей, то как мы можем отвечать за свои действия? Вряд ли это вина человека, если ему предопределено ограбить банк. Так почему же он должен быть наказан?

В последнее время аргумент в пользу детерминизма основывается на науке. Представляется, что существуют четко определенные законы, управляющие тем, как Вселенная и все сущее в ней развиваются во времени. Хотя мы еще не нашли точную форму этих законов, но уже знаем достаточно, чтобы определить, как ведет себя Вселенная во всех ситуациях, кроме экстремальных. Найдем ли мы остальные законы в сравнительно близком будущем — это зависит от точки зрения. Я оптимист и думаю, что шансы — пятьдесят на

* Лекция, прочитанная на семинаре клуба «Сигма» в Кембриджском университете в апреле 1990 г.

пятьдесят в пользу того, что мы найдем их в ближайшие двадцать лет. Но даже если не найдем, это на самом деле не имеет значения для спора. Важно то, что должен существовать набор законов, которые полностью определяют эволюцию Вселенной по ее начальному состоянию. Эти законы могли быть установлены Богом, но похоже, что Он (или Она) больше не вмешивается в дела Вселенной, чтобы нарушить эти законы.

Начальная конфигурация Вселенной могла быть выбрана Богом или могла определиться сама по научным законам. В любом случае похоже, что все во Вселенной предопределено эволюцией согласно научным законам, так что трудно понять, как мы можем быть кузнецами своей судьбы.

Идея о том, что возможна некая великая единая теория, определяющая все во Вселенной, вызывает много трудностей. Прежде всего, такая теория предположительно должна быть компактна и изящна с точки зрения математики. В теории всего должно быть нечто особое и простое. И все же как может некое число уравнений учесть всю сложность и мельчайшие детали того, что мы видим вокруг? Можно ли действительно поверить, что великая единая теория определила, будто первой в хит-параде этой недели будет Шинейд О'Коннор или что на обложке «Космополитен» появится Мадонна?

Вторая проблема с предопределением всего великой единой теорией заключается в том, что все наши утверждения, любые догадки тоже предопределены этой самой теорией. Но почему она должна предопределить, что мы сформулируем ее верно? Не более ли вероятно, что мы определим ее ложно, поскольку на каждое ис-

тинное высказывание приходится множество всевозможных ложных? Каждую неделю я получаю по почте кучу теорий от разных людей. Эти теории различны, и многие противоречат друг другу. И все же, предположим, великая единая теория предопределила то, что авторы считают себя правыми. Так почему же все, что я говорю, должно быть более здраво? Разве я не так же предопределен великой единой теорией?

Третья проблема с идеей, что все предопределено, заключается в нашем ощущении, будто мы обладаем свободной волей, что мы свободны выбирать, делать что-либо или нет. Но если все предопределено научными законами, то свободная воля — иллюзия, а коль скоро мы не обладаем свободной волей, на чем же основывается наша ответственность за свои поступки? Мы не наказываем преступников, если они невменяемы, так как считаем, что это не поможет. Но если все мы предопределены великой единой теорией и никто не может помешать нашим поступкам, так почему нужно нести ответственность за свои действия?

Эти проблемы детерминизма обсуждались веками. Однако дискуссия была несколько академичной, так как мы были далеки от полного знания научных законов и не представляли себе, как было определено начальное состояние Вселенной. Сейчас эти проблемы более актуальны, так как есть возможность в ближайшие двадцать лет создать эту единую теорию. А мы понимаем, что начальное состояние могло установиться само собой на основании научных законов, — это следует из моей личной попытки разобраться с этими проблемами. Я не претендую на особую оригинальность или глубину, но это лучшее, что я могу предложить в данный момент.

Начнем с первой проблемы: как может относительно простая и компактная теория лежать в основе Вселенной, такой сложной, со множеством мелких и незначительных деталей? Ключом к этому служит принцип неопределенности из квантовой механики, утверждающий, что нельзя точно измерить и положение частицы, и ее скорость: чем точнее измеряешь положение, тем менее точно можешь измерить скорость, и наоборот. Но в самой ранней Вселенной все было очень близко друг к другу, поэтому существовала огромная степень неопределенности и множество возможных состояний Вселенной. Эти различные возможные ранние состояния разовьются в семейство различных историй Вселенной. Большинство из них в своих основных чертах будут схожи. Они будут соотноситься с единой и ровной расширяющейся Вселенной. Однако они будут различаться такими деталями, как распределение звезд, и более того — такими, как обложки журналов (если, конечно, в тех историях будут журналы). Таким образом, сложность Вселенной вокруг нас и ее детали возникают из принципа неопределенности на ранних стадиях. Это дает полное семейство возможных историй, в которых нацисты победили во Второй мировой войне, хотя такая вероятность и мала. Но мы чисто случайно попали в историю, где войну выиграли союзники и на обложке журнала «Космополитен» изображена Мадонна.

Теперь я вернусь ко второй проблеме: если все наши действия предопределены некой великой единой теорией, почему теория предопределила, что мы придем к правильному, а не к ложному заключению о ней самой? Почему все, что мы говорим, должно быть здравым? Мой ответ основывается на идее Дарвина о есте-

ственном отборе. Я понимаю ее так: некоторые самые примитивные формы жизни возникли на Земле самопроизвольно из-за случайного сочетания атомов; эта ранняя форма жизни, вероятно, была просто большой молекулой, и, вероятно, это была не ДНК, так как шансы случайно образовать целую молекулу ДНК весьма малы.

Ранняя форма жизни должна была воспроизводить себя. Из квантового принципа неопределенности и хаотического теплового движения атомов следует, что в воспроизведении возникало множество отклонений. Большинство из этих отклонений оказались роковыми для выживания организма и его способности дать потомство. Такие отклонения не передались в последующие поколения, а их носители вымерли. Очень немногие отклонения оказались удачными — чисто случайно. Организмы с такими ошибками имели больше шансов выжить и дать потомство. Таким образом, они могли заменить первоначальные, не усовершенствованные организмы.

Развитие двуспиральной структуры ДНК могло оказаться таким усовершенствованием на ранних стадиях. Вероятно, оно оказалось таким успешным, что полностью вытеснило все более ранние формы жизни, каковы бы они ни были. По мере эволюции развилась центральная нервная система. Существа, правильно осознававшие значение данных, предоставляемых органами чувств, и предпринимавшие соответствующие действия, имели больше шансов выжить и дать потомство. Человек вывел это свойство на новый уровень. Мы очень похожи на приматов и телом, и нашей ДНК, но небольшое отклонение нашей ДНК дало нам возможность развить язык общения. Вследствие этого мы

смогли передавать информацию и накапливать опыт из поколения в поколение в устной, а потом и в письменной форме. До того опыт мог передаваться только медленным процессом кодирования в ДНК через случайные отклонения в воспроизведении потомства. Эффектом оказалось драматическое ускорение эволюции. Чтобы создать человека, понадобилось более трех миллиардов лет. Но в течение последних десяти тысяч лет мы создали письменность. Это позволило нам развиваться из обитателей пещер до того состояния, когда мы ставим вопрос об окончательной теории Вселенной.

Последние десять тысяч лет процесс биологической эволюции шел очень медленно, и значительного изменения человеческой ДНК не было. Стало быть, наш ум, наша способность делать правильные заключения из информации, поступающей от органов чувств, должны датироваться периодом нашего обитания в пещерах или еще более ранним. Это свойство отбиралось на основе нашей способности убивать определенных животных для еды и не быть убитыми другими животными. Замечательно, что это свойство ума, отобранное для указанных целей, дало нам преимущество в самых разнообразных обстоятельствах нынешнего времени. Вероятно, ответ на вопрос о детерминизме и построение великой единой теории не дадут нам большого преимущества для выживания. Тем не менее ум, который мы развили по другим причинам, может гарантировать, что мы найдем правильные ответы на эти вопросы.

Теперь я вернусь к третьей проблеме — к вопросу свободной воли и ответственности за свои поступки. Мы субъективно чувствуем, что у нас есть способность выбирать, кем быть и что делать. Но это может быть

всего лишь иллюзией. Некоторые считают себя Иисусом Христом или Наполеоном, но все они не могут быть правы. Что нам нужно, так это объективный тест, приложимый со стороны, чтобы определить, имеет ли организм свободную волю. Предположим, нас навестило «маленькое зеленое существо» с другой звезды. Как мы можем определить, имеет оно свободную волю или это просто робот, запрограммированный реагировать так же, как и мы?

Окончательный объективный тест на свободу воли будет примерно таким: можно ли предсказать поведение организма? Если можно, то ясно, что он не имеет свободной воли, а его поведение предопределено. А если предсказать его поведение нельзя, это можно взять за рабочее определение признака, что организм имеет свободную волю.

Такому определению свободной воли можно возражать на том основании, что когда мы найдем полную единую теорию, то сможем предсказать все поступки человека. Однако человеческий мозг тоже подвержен принципу неопределенности. Значит, в человеческом поведении существует элемент случайности, ассоциирующийся с квантовой механикой. Но энергии мозга низки, так что неопределенность из квантовой механики в этом случае оказывается мала. Истинная причина невозможности предсказать человеческое поведение состоит в том, что это слишком трудно. Мы уже знаем основные физические законы, управляющие активностью мозга, и они сравнительно просты. Но уравнения, в которых более чем одна-две частицы, решить слишком сложно. Даже в более простой Ньютоновой теории гравитации можно точно решить уравнения только для случая двух частиц. Для трех и более приходится

прибегать к аппроксимациям, и с увеличением числа частиц трудности резко возрастают. Человеческий мозг содержит около 10^{26} , или сто миллионов миллиардов миллиардов, частиц. Это слишком много, чтобы мы смогли когда-нибудь решить уравнения и предсказать, как мозг поведет себя, учитывая, что в эти уравнения входят и начальное состояние, и данные, поступающие от нервов. В действительности мы не можем даже измерить, каково было начальное состояние, так как, чтобы сделать это, нам пришлось бы расчленить мозг. И даже если бы мы были готовы на это, частиц окажется слишком много, чтобы учесть их. К тому же мозг, вероятно, очень чувствителен к начальному состоянию — небольшое изменение в нем может привести к большому изменению в последующем поведении. Поэтому, хотя нам известны управляющие мозгом фундаментальные уравнения, мы совершенно не способны использовать их для предсказания человеческого поведения.

Такая же ситуация возникает в науке, когда мы имеем дело с макроскопическими системами, потому что число частиц всегда слишком велико, чтобы мы могли иметь хоть какой-то шанс решить фундаментальные уравнения. Что мы делаем вместо этого? Пользуемся рабочими теориями. Они являются приближениями, в которых очень большое число частиц заменяется несколькими величинами. Примером может служить гидродинамика. Жидкость вроде воды состоит из миллиардов миллиардов молекул, которые, в свою очередь, состоят из электронов, протонов и нейтронов. И все же это хорошее приближение — рассматривать жидкость как непрерывную среду, характеризующуюся только скоростью, плотностью и температурой. Предсказания гидро-

динамики не точны — чтобы понять это, нужно хотя бы послушать прогнозы погоды, — но они достаточно хороши, чтобы проектировать корабли и трубопроводы.

Я хочу предположить, что понятие свободной воли и моральной ответственности за свои поступки — это на самом деле рабочие теории, наподобие гидродинамики. Возможно, все наши поступки предопределены некой великой единой теорией. Если эта теория говорит, что мы должны кончить жизнь на виселице, то мы не утонем. Но чтобы пуститься на утлой лодчонке по бурному морю, вы должны быть абсолютно уверены, что вам уготована виселица. Я заметил, что даже люди, утверждающие, что все предопределено и что мы не можем ничего изменить, всегда смотрят по сторонам, переходя дорогу. Возможно, те, кто не смотрит, просто не доживают, чтобы рассказать свою историю.

Нельзя основывать свое поведение на идее, что все предопределено, поскольку никто не знает, что же именно предопределено. Вместо этого нужно принять рабочую теорию, что человек имеет свободную волю и что он в ответе за свои поступки. Эта теория не очень хороша в смысле предсказания человеческого поведения, но мы принимаем ее, так как нет возможности решить уравнения, следующие из фундаментальных законов. А почему еще мы верим в свободную волю, можно объяснить с позиций теории Дарвина: общество, в котором индивидuum чувствует ответственность за свои поступки, с большей вероятностью может работать сплоченно, выжить и распространить свои ценности в мире. Конечно, и муравьи работают сплоченно. Но их общество статично. Оно не может реагировать на незнакомые опасности или воспользоваться открывшимися возможностями. А вот сообщество свободных личностей, разделяющих

общие цели, может работать для решения общей задачи и в то же время обладать гибкостью для нововведений. Поэтому такое общество с большей вероятностью будет процветать и распространит свою систему ценностей.

Понятие свободной воли не принадлежит к области фундаментальных научных законов. Если кто-то попытается вывести человеческое поведение из научных законов, то попадет в логический парадокс системы, соотносящейся сама с собой. Если чьи-то действия предсказаны фундаментальными законами, то сам факт предсказания может изменить событие. Это напоминает ловушку, в которую можно попасть, если бы были возможны путешествия во времени, чего, я думаю, никогда не будет. Если вы увидите, что произойдет в будущем, то можете изменить это. Если узнаете, какая лошадь выиграет Большой национальный приз, вы можете поставить на нее, чтобы сделать состояние. Но это действие изменит шансы. Нужно посмотреть лишь *назад в будущее*, чтобы понять, какие возникнут проблемы.

Парадокс с возможностью предсказывать чужие действия тесно связан с проблемой, упомянутой выше: определила ли единая теория, что мы придем к правильному заключению относительно ее самой? В этом случае я утверждаю, что к верному ответу нас приведет идея Дарвина о естественном отборе. Возможно, «верный ответ» не совсем те слова, но, по крайней мере, естественный отбор приведет нас к ряду довольно хорошо работающих физических законов. Однако применить физические законы, чтобы вывести человеческое поведение, мы не можем по двум причинам. Во-первых, мы не сможем решить уравнения. Во-вторых, даже если бы смогли, сам факт предсказания внесет в систему возму-

щение. А естественный отбор, похоже, приведет нас к принятию рабочей теории о свободной воле. Если принять, что личность свободно определяет свои действия, нельзя утверждать, что в некоторых случаях это делают внешние силы. Концепция «почти свободной воли» бессмысленна. Но люди склонны путать возможность догадаться, что личность, скорее всего, предпримет, с понятием о свободе выбора. Я могу догадаться, что большинство из вас сегодня поужинают, но вы совершенно свободны предпочесть иное и лечь спать голодными. Примером такой путаницы является доктрина об ограниченной ответственности: идея, будто человека не следует наказывать за его действия, если они были совершены в состоянии стресса. Возможно, кто-то в состоянии стресса склонен к антиобщественным поступкам. Но это не значит, что мы должны поощрять эту склонность, облегчая наказание.

Можно отдельно исследовать фундаментальные научные законы и изучать человеческое поведение, но при помощи фундаментальных законов вывести формулу поведения человека нельзя по причинам, которые я уже объяснил. Однако можно надеяться, что мы сможем найти применение и уму, и мощи логического мышления, развившимся в нас благодаря естественному отбору. К несчастью, он развил в нас и другие свойства, такие как агрессия. В пещерные времена и еще раньше агрессия давала преимущество для выживания и потому воспитывалась естественным отбором. Однако огромное увеличение разрушительной мощи, данное нам современной наукой и техникой, сделало агрессивность очень опасным качеством, которое угрожает выживанию всего человечества. Беда в том, что агрессивные инстинкты, похоже, закодированы в нашей

ДНК. Эволюция изменяет ДНК только за миллионы лет, но наша разрушительная мощь развивается так же быстро, как нынче информационная система, то есть за два-три десятка лет. Если мы не сумеем воспользоваться разумом, чтобы управлять своей агрессивностью, у человечества не много шансов. И все же пока существует жизнь, есть и надежда. Если мы сумеем пережить следующие, ну, скажем, сто лет, то расселимся на другие планеты и, возможно, на другие звезды. Это значительно снизит вероятность нашего уничтожения в результате какой-нибудь катастрофы вроде ядерной войны.

Резюме: я рассмотрел некоторые проблемы, возникающие в результате веры в то, что все во Вселенной предопределено. Нет большой разницы, вызван ли этот детерминизм всемогущим Богом или научными законами. В самом деле, всегда можно сказать, что научные законы — это выражение Божьей воли.

Рассмотрено три вопроса. Первый: как простой набор уравнений может охватить всю сложность Вселенной со множеством мелких деталей, вроде того, чье изображение украсит обложку журнала «Космополитен»? Ответ представляется таким: из принципа неопределенности в квантовой механике следует, что у Вселенной не одна-единственная история, а целое семейство возможных историй. Они могут быть похожи в большом масштабе, но очень отличаться в обычном, повседневном масштабе. Нам случилось жить в одной частной истории, имеющей свои свойства и детали. Но существуют очень похожие разумные существа, живущие в другой истории, где война закончилась по-другому и у Католической Церкви другая глава. Таким образом, незначительные детали в нашей Вселенной возникают пото-

му, что фундаментальные законы включают в себя квантовую механику с ее элементом неопределенности и случайности.

Второй вопрос звучал так: если все предопределено некой фундаментальной теорией, что же мы скажем о теории, также ею предопределенной, и почему она должна определиться верно, а не ложно и несуразно? Чтобы ответить на этот вопрос, я привлек теорию Дарвина о естественном отборе: шанс выжить и дать потомство имели только те личности, кто делал правильные выводы об окружающем мире.

Третий вопрос был такой: если все предопределено, то что же такое свободная воля и наша ответственность за свои поступки? Но единственный объективный тест, определяющий, имеет ли организм свободную волю, заключается в возможности предсказать поведение этого организма. Чтобы предсказать, как поступит человек, нельзя воспользоваться научными законами по двум причинам: во-первых, мы не умеем решать уравнения для очень большого числа участвующих в них частиц; во-вторых, даже если бы умели, сам факт предсказания внес бы в систему возмущение и мог бы привести к другому результату. А поскольку мы не можем предсказать человеческое поведение, то можем в качестве рабочей теории принять, что человек свободен сам принимать решения относительно своих действий. Похоже, вера в свободную волю и ответственность за свои поступки дает определенные преимущества для выживания, из чего следует, что естественный отбор усиливает эти качества. Достаточно ли ответственности, передаваемой словесно, для того, чтобы управлять наследуемой с ДНК агрессивностью, остается под вопросом. Посмотрим. Если окажется,

что недостаточно, человечество будет тем тупиком, в который приведет естественный отбор. Возможно, какие-нибудь другие разумные существа где-нибудь в Галактике достигнут лучшего баланса между ответственностью и агрессивностью. Но в таком случае мы могли бы надеяться войти с ними в контакт, хотя бы поймать их радиосигналы. Возможно, они знают о нашем существовании, но не хотят нам открыться. Учитывая нашу историю, это, может быть, и разумно.

Название данного эссе представляло собой вопрос: все ли предопределено? Ответ — да, все предопределено. Но можно считать, что и нет, так как мы не знаем, что же именно предопределено.

Тема данного эссе — будущее Вселенной, точнее — каким представляют его ученые. Конечно, предсказывать будущее очень трудно. Мне как-то подумалось, не написать ли книгу под названием «Вчерашнее завтра: история будущего». Это была бы история предсказаний будущего, почти все из которых оказались весьма далеки от истины. Но несмотря на эти неудачи, ученые по-прежнему думают, что могут предсказать будущее.

В древние времена предсказания были делом оракулов или сивилл. Часто это были женщины, погруженные в транс каким-либо наркотическим веществом или надышавшиеся вулканических испарений. Их бред толковали окружавшие их жрецы. Действительное искусство крылось в толковании. Знаменитый Дельфийский оракул в Древней Греции был знаменит своей уклончивостью и двусмысленностями. Когда персы напали на Грецию и спартанцы спросили, что будет дальше, оракул ответил: «Или Спарта будет разрушена, или ее царь будет убит». Полагаю, жрец рассчитывал, что если не сбудется ни то, ни другое, спартанцы будут так благодарны Аполлону, что не заметят ошибки оракула. На самом деле царь был убит в бою,

* Дарвиновская лекция, прочитанная в Кембриджском университете в январе 1991 г.

защищая проход у Фермопил, что спасло Спарту и привело к окончательному разгрому персов.

В другом случае лидийский царь Крёз, богатейший человек в мире, спросил, что будет, если он вторгнется в Персию. Ответ был таков: «Великое царство погибнет». Крёз подумал, что имеется в виду Персидская держава, но погибло его собственное царство.

Недавние пророки с большей готовностью рисковали головой, указывая точные даты конца света. Им даже удавалось сбить цены на фондовом рынке, хотя не могу взять в толк, почему конец света заставляет людей продавать свои акции. Полагаю, ни деньги, ни акции все равно с собой не возьмешь.

Пока что все эти даты конца света прошли без каких-либо инцидентов. Но пророки часто находили объяснение своим очевидным ошибкам. Например, Уильям Миллер, основатель секты адвентистов седьмого дня, предсказал, что второе пришествие будет между 21 марта 1843 года и 21 марта 1844 года. Когда ничего не произошло, дата была перенесена на 22 октября 1844 года. Когда и она прошла без происшествий, была выдвинута новая интерпретация, согласно которой 1844 год являлся началом второго пришествия — но прежде нужно пересчитать имена в Книге жизни. Только тогда настанет день Страшного суда для тех, кого в Книге не оказалось. К счастью, подсчет занял долгое время.

Конечно, и научные прогнозы могут оказаться не надежнее, чем предсказания оракулов и пророков. Можно вспомнить прогнозы погоды. Но представляется, что в определенных ситуациях мы можем дать надежный прогноз, и будущее Вселенной, в очень большом масштабе, попадает в число таких тем.

За последние триста лет мы открыли научные законы, управляющие существованием материи в нормальных условиях. Но для экстремальных ситуаций мы по-прежнему законов не знаем. Эти законы важны для понимания того, как возникла Вселенная, но они не влияют на ее будущее развитие, если только (или пока) Вселенная опять не сожмется в сверхплотное состояние. По сути, мерилom того, как мало эти законы высоких энергий влияют на нынешнюю Вселенную, является тот факт, что для их проверки мы тратим огромные деньги на строительство гигантских ускорителей частиц.

Даже зная соответствующие законы, управляющие Вселенной, мы не можем использовать их для предсказания далекого будущего. Это объясняется тем, что решения физических уравнений могут проявить свойство, известное как хаотичность, то есть уравнения могут оказаться нестабильными: малейшее изменение в параметрах — и поведение системы вскоре совершенно изменится. Например, если вы чуть-чуть измените усилие, с которым толкнули колесо рулетки, то измените выигрышный номер. Выигрышный номер практически невозможно предугадать — иначе физики сколачивали бы себе состояние в казино.

В нестабильных хаотических системах, как правило, существует временной масштаб, малое изменение которого приводит к вдвое большему изменению начального состояния. В приложении к земной атмосфере этот временной масштаб составляет порядка пяти дней — примерно столько, сколько нужно ветру, чтобы облететь вокруг Земли. На период около пяти дней предсказать погоду можно довольно точно, но чтобы предсказать ее дальше, нужно очень точно знать настоящее

состояние атмосферы и произвести невероятно сложные вычисления. Нет способа предсказать погоду на шесть месяцев вперед точнее, чем дать среднее сезонное значение.

Мы также знаем основные законы химии и биологии и в принципе могли бы определить, как работает мозг. Но описывающие мозг уравнения почти наверняка имеют хаотический характер, и малейшее изменение начального состояния ведет к совершенно иному результату. Поэтому на практике мы не можем предсказать человеческое поведение, даже если бы знали уравнения, им управляющие. Наука не может предсказать будущее человечества, даже если это будущее есть. Опасность заключается в том, что наша способность разрушать и губить окружающую среду и друг друга возрастает гораздо быстрее, чем наша мудрость в использовании этой способности.

Что бы ни случилось на Земле, остальная Вселенная не обратит на это внимания. Представляется, что движение планет вокруг Солнца в конечном счете хаотично, хотя и в далекой перспективе. Это означает, что ошибки в предсказании становятся с течением времени больше. Далее какого-то времени движение в деталях предсказать невозможно. Мы можем быть относительно уверены, что Земля очень долго не встретится с Венерой, но не можем гарантировать, что малые возмущения орбит не сложатся так, что через миллиард лет это столкновение случится. Движение Солнца и других звезд вокруг центра Галактики и движение Галактики вокруг центра группы галактик тоже хаотичны. Мы наблюдаем, что другие галактики удаляются от нас, и более отдаленные удаляются быстрее. Это означает, что Вселенная расширяется в близлежащее про-

странство: расстояние между галактиками со временем возрастает.

Наблюдаемое нами фоновое микроволновое излучение из внешнего пространства свидетельствует, что это расширение равномерно и нехаотично. Вы можете сами наблюдать это излучение, настроив ваш телевизор на свободный канал. Небольшая часть пятнышек, увиденных вами на экране, вызвана микроволнами, пришедшими из-за пределов Солнечной системы. Это тот же вид излучения, что и в микроволновой печи, просто гораздо слабее. Оно может разогреть пищу лишь до 2,7 градуса выше абсолютного нуля и потому не очень подойдет для приготовления пищи. Считается, что это излучение осталось от ранней — горячей стадии развития Вселенной. Но самое замечательное в нем то, что почти одно и то же количество излучения поступает со всех направлений. Его очень точно измеряет спутник-исследователь космического фона. Карта неба, сделанная по результатам этих наблюдений, показала бы разную температуру излучения. С разных направлений приходит излучение разной температуры, но отклонения очень невелики — примерно в одной части из 100 000. Какая-то разница в микроволнах, пришедших с разных направлений, должна быть, так как Вселенная не совершенно равномерна — в ней есть местные аномалии вроде звезд, галактик и скоплений галактик. Но отклонение микроволнового фона мало, насколько это возможно, учитывая наблюдаемые нами местные аномалии. В 99 999 частях из 100 000 микроволновый фон одинаков во всех направлениях.

В древние времена люди верили, что Земля находится в центре Вселенной. И потому они бы не удивились, что фон со всех сторон одинаков. Однако со времен Ко-

перника нас понизили до одной из малых планет, вращающихся вокруг очень заурядной звезды на окраине обыкновенной галактики — одной из ста миллиардов видимых нами. Теперь мы стали настолько скромны, что не можем претендовать на особое положение во Вселенной, и потому должны допустить, что фон одинаков во всех направлениях почти в любой галактике. Это возможно только в том случае, если средняя плотность Вселенной и скорость ее расширения везде одинаковы. Любое отклонение средней плотности или скорости расширения в большой области привело бы к тому, что фон с разных направлений различался бы. Из этого следует, что в очень большом масштабе поведение Вселенной просто и нехаотично, и потому можно делать предсказания на далекое будущее.

Поскольку расширение Вселенной столь равномерно, его можно описать одним числом — расстоянием между двумя галактиками. В настоящее время оно возрастает, но можно предположить, что гравитационное притяжение между разными галактиками замедляет это возрастание. Если плотность Вселенной больше некоторой критической величины, гравитационное притяжение в конце концов остановит расширение и снова заставит Вселенную сжиматься. Произойдет Большое Сжатие. Это будет подобно Большому Взрыву, с которого Вселенная началась. Большое Сжатие окажется так называемой сингулярностью — состоянием с бесконечной плотностью, в котором нарушаются физические законы. Это означает, что даже если бы после Большого Сжатия были какие-то события, предсказать их невозможно. Но без причинной связи между событиями нет никакого осмысленного способа определить, что за чем последует. Наша Вселенная может

даже закончиться Большим Сжатием, и тогда любое событие «после» этого будет частью другой, особой Вселенной. Это немного напоминает перевоплощение, реинкарнацию. Какое значение можно придавать утверждению, будто новорожденный ребенок — тот же человек, что и умерший, если ребенок не унаследовал никаких свойств и никаких воспоминаний из своей предыдущей жизни? Точно так же можно сказать, что это другая личность.

Если средняя плотность Вселенной меньше критического значения, она не будет сжиматься, а ее расширение продолжится. Через какое-то время ее плотность станет так мала, что гравитационное притяжение не будет оказывать существенного влияния на скорость расширения, и галактики продолжат разлетаться с постоянной скоростью.

Значит, ключевой вопрос относительно будущего Вселенной заключается в том, какова ее средняя плотность. Если она меньше критического значения, Вселенная будет расширяться вечно, но если больше, то она снова захлопнется, и само время тоже закончится в Большом Сжатии. Однако у меня есть некоторое преимущество перед предсказателями судеб. Даже если Вселенной суждено сжаться, я могу с уверенностью предсказать, что расширение не остановится еще по крайней мере десять миллиардов лет. Не думаю, что кто-то уличит меня в ошибке.

Среднюю плотность Вселенной мы можем попытаться оценить по наблюдениям. Если пересчитаем видимые звезды и сложим их массы, то получим менее одного процента от критической плотности. Даже если мы присовокупим массу газовых облаков, наблюдаемых во Вселенной, это увеличит сумму примерно

на один процент от критического значения. Однако мы знаем, что Вселенная содержит так называемую темную материю, которую нельзя увидеть непосредственно. Частично свидетельства о такой темной материи приходят из спиральных галактик. Это огромные скопления звезд и газа, имеющие форму сковороды. Мы наблюдаем, как они вращаются вокруг своего центра, но скорость вращения очень велика, и если бы они содержали только видимые звезды и газ, то разлетелись бы. Там должна быть какая-то невидимая форма материи, чье гравитационное притяжение достаточно велико, чтобы при вращении удерживать галактики в целостности.

Другие свидетельства о темной материи поступают из скоплений галактик. Мы наблюдаем, что галактики в пространстве распределены не равномерно — они собираются в скопления, насчитывающие от нескольких галактик до миллиона. Предположительно, эти скопления сформировались потому, что галактики притягиваются друг к другу. Однако мы можем измерить скорость, с которой в этих скоплениях движутся отдельные галактики. Оказывается, скорости так высоки, что скопления разлетелись бы, не сдерживай их гравитационное притяжение. Это случится, даже если галактики имеют достаточную массу, чтобы сохранить свою целостность при вращении. Отсюда следует, что в скоплениях галактик должна быть дополнительная, темная, материя, кроме той, что мы видим.

Можно довольно достоверно оценить количество темной материи в тех галактиках и скоплениях, о которых у нас есть определенные свидетельства. Но эта оценка по-прежнему составит около десяти процентов критической плотности, необходимой для того, чтобы

заставить Вселенную снова сжаться. Таким образом, если основываться на наблюдениях, можно утверждать, что Вселенная будет расширяться вечно. Еще через пять миллиардов лет у Солнца иссякнет ядерное топливо, Солнце раздуется, образуя так называемый красный гигант, и поглотит Землю и ближайшие планеты. Потом оно установится в состояние белого карлика диаметром в несколько тысяч миль. Так я предсказываю конец света, но он наступит еще не сейчас. Не думаю, что мое предсказание вызовет большую депрессию на фондовом рынке. На горизонте видны более насущные проблемы. Во всяком случае, к тому времени, когда Солнце раздуется, нам нужно освоить искусство межзвездных путешествий, если мы еще не уничтожим себя сами.

Примерно через миллиард лет большинство звезд во Вселенной сгорит. Звезды с массой вроде нашего Солнца станут или белыми карликами, или нейтронными звездами, которые еще меньше и плотнее. Более массивные звезды станут черными дырами, которые еще меньше и имеют такое сильное гравитационное поле, что даже свет не может его преодолеть. Однако эти остатки будут по-прежнему вращаться вокруг центра Галактики с периодом около ста миллионов лет. Столкновения между остатками вытолкнут некоторые из них прочь из Галактики. Остальные установятся на более близких к центру орбитах и в конце концов соберутся вместе, образовав в центре Галактики гигантскую черную дыру. Чем бы ни была темная материя в галактиках и их скоплениях, она тоже, видимо, упадет в эти большие черные дыры.

Следовательно, можно предположить, что большая часть материи в галактиках и их скоплениях закончит

свой путь в черных дырах. Однако не так давно я открыл, что черные дыры не такие уж черные, как их принято изображать. Принцип неопределенности в квантовой механике гласит, что нельзя точно предсказать и положение частицы, и ее скорость. Чем более точно определяется положение, тем менее точно — скорость, и наоборот. Если частица находится в черной дыре, ее положение четко определено — в черной дыре. Следовательно, ее скорость точно определить нельзя, и, стало быть, она может оказаться выше скорости света. Это дает ей возможность вырваться из черной дыры. И таким образом частицы и излучение будут потихоньку вытекать из черной дыры. Диаметр гигантской черной дыры в центре Галактики будет составлять миллионы миль. Следовательно, положение частицы в такой дыре будет обладать большой степенью неопределенности. Стало быть, неопределенность скорости будет небольшой, и частице понадобится очень долгое время, чтобы вырваться оттуда. Но в конце концов она вырвется. Большой черной дыре в центре Галактики может понадобиться 10^{90} лет, чтобы испариться совсем и прекратить свое существование, — это единица с 90 нулями, то есть гораздо больше, чем срок существования нынешней Вселенной, составляющий всего 10^{10} лет — единица с 10 нулями. Так что если Вселенная собирается расширяться вечно, у нас еще куча времени.

Будущее вечно расширяющейся Вселенной будет довольно скучным. Но будет ли она расширяться вечно, еще ни в коей мере не решено. У нас есть определенные свидетельства, что имеется примерно лишь одна десятая от плотности, нужной для того, чтобы Вселенная снова сжалась. И все же могут быть другие виды темной материи, которые мы пока не выявили, но которые

могут повысить плотность Вселенной до критической величины или превысить ее. Эта дополнительная темная материя должна располагаться вне галактик и их скоплений. Иначе мы бы заметили ее воздействие на вращение галактик или их движение внутри скоплений.

С чего бы нам предполагать, что может найтись достаточно материи, которая в конце концов заставит Вселенную сжиматься? Почему бы просто не поверить в то, чему есть свидетельства? Причина в том, что даже наличие одной десятой критической плотности требует невероятно тщательного определения начальной плотности и скорости расширения. Если бы плотность Вселенной через одну секунду после Большого Взрыва была на одну триллионную больше, Вселенная сжалась бы через десять лет. С другой стороны, если бы она в то время была на ту же часть меньше, то с тех пор существенно опустошилась бы.

Как же получилось, что начальная плотность оказалась так тщательно выбрана? Возможно, существует какая-то причина, по которой Вселенная должна иметь точно критическую плотность. Этому можно найти два объяснения. Одно — это так называемый человеческий принцип; его можно перефразировать следующим образом: Вселенная такова, потому что будь она другой, нас бы тут не было, чтобы ее наблюдать. Идея заключается в том, что могло быть множество вселенных с разными судьбами. И только вселенные с плотностью, очень близкой к критической, смогли просуществовать достаточно долго и содержать достаточно материи для образования звезд и планет. Только в таких вселенных могли появиться разумные существа, чтобы задаться вопросом: почему это плотность Вселенной так близка к критической? Если это объяснение,

то нет смысла полагать, что материи во Вселенной больше, чем мы уже обнаружили. Чтобы образовались галактики и звезды, хватило бы и десятой части критической плотности. Однако многим не нравится человеческий принцип, поскольку он, похоже, придает слишком большую важность нашему собственному существованию. Поэтому они искали какое-то другое объяснение тому, почему плотность должна быть так близка к критической. Эти поиски привели к теории инфляции в ранней Вселенной. Идея заключалась в том, что размеры Вселенной постоянно удваивались, как каждый месяц удваиваются цены в странах с высокой инфляцией. Однако инфляция Вселенной была гораздо быстрее и выше: увеличение с коэффициентом по меньшей мере миллиард миллиардов при крохотной инфляции привело бы Вселенную настолько близко к критической плотности, что последняя и сейчас была бы близка к критической. Это означает, что Вселенная, вероятно, в конце концов опять сожмется, но на это ей понадобится не намного больше времени, чем те примерно пятнадцать миллиардов лет, в течение которых она расширяется.

Чем может стать дополнительная темная материя, если теория инфляции верна? По-видимому, она отличается от нормальной материи, из которой состоят звезды и планеты. Мы можем рассчитать количество различных легких элементов, произведенных на ранних, горячих этапах развития Вселенной в первые три минуты после Большого Взрыва. Количество этих легких элементов зависит от количества нормальной материи во Вселенной. Можно начертить график, где ординатой будет количество легких элементов, а абсциссой — количество нормальной материи. Получится хорошее соот-

ветствие с наблюдаемым содержанием элементов, если полное количество нормальной материи составит примерно лишь одну десятую от критического количества сейчас. Возможно, эти расчеты неверны, но тот факт, что мы получаем наблюдаемое содержание элементов, очень впечатляет.

Если существует критическая плотность темной материи, главным претендентом на то, чтобы быть темной материей, будут остатки от ранних этапов развития Вселенной. Возможно, это элементарные частицы. Есть несколько гипотетических кандидатов — частицы, наличие которых мы предполагаем, но которые в действительности пока не обнаружены. Но самый многообещающий вариант — это частица, о существовании которой есть свидетельства, — нейтрино. Считалось, что она не имеет собственной массы, но некоторые недавние наблюдения предположили, что нейтрино может иметь маленькую массу. Если это подтвердится и будет найдено ее правильное значение, нейтрино обеспечат достаточно массы, чтобы довести плотность Вселенной до критического значения.

Другая возможность — черные дыры. Можно предположить, что ранняя Вселенная испытала так называемый фазовый переход. Примеры фазового перехода — замерзание и закипание воды. При фазовом переходе первоначально однородная среда, вроде воды, порождает аномалии, — в случае с водой это кристаллики льда или пузырьки пара. Эти аномалии могли сжаться, образовав черные дыры. Если бы черные дыры были очень малы, они бы к настоящему времени испарились вследствие принципа неопределенности в квантовой механике, как было описано выше. Но если их масса была больше нескольких миллионов тонн (масса горы),

они могут по-прежнему где-то летать, и их очень трудно обнаружить.

Единственный способ обнаружить темную материю, равномерно распределенную по Вселенной, основывался бы на ее влиянии на расширение Вселенной. Насколько тормозится скорость расширения, можно определить, измерив скорость удаления от нас далеких галактик. Дело в том, что, когда свет от этих галактик достигает нас, мы наблюдаем их давнее прошлое. Можно начертить график зависимости скорости галактик от их видимой яркости и величины, что и является мерой их удаленности от нас. Разные линии на этом графике относятся к различным темпам замедления расширения. Изогнутый график относится ко Вселенной, которая сожмется. На первый взгляд, графики говорят о грядущем сжатии. Но беда в том, что видимая яркость галактики — не очень хороший показатель ее удаленности от нас. Существует не только значительный разброс в прирожденной яркости галактик, но есть еще и свидетельства, что их яркость изменяется со временем. Поскольку мы не знаем, в какой степени может измениться яркость, мы не можем сказать, каков темп замедления: то ли он достаточен, чтобы в конце концов Вселенная начала сжиматься, то ли она будет расширяться вечно. Придется подождать, пока мы не разработаем лучшие способы измерения расстояния до галактик. Но можно не сомневаться, что темп замедления не так велик, чтобы Вселенная сжалась в ближайшие миллиарды лет.

Ни вечное расширение, ни сжатие через сто миллиардов лет не являются такой уж интересной перспективой. Нет ли чего-нибудь такого, что сделало бы будущее более интересным? Одним из несомненно

интересных путей была бы возможность попасть в черную дыру. Это должна быть довольно большая черная дыра, по массе более чем в миллион раз превышающая Солнце. Но есть шанс, что в центре Галактики есть черная дыра таких размеров.

Мы не знаем точно, что происходит внутри черной дыры. Для уравнений общей теории относительности существуют решения, позволяющие упасть в черную дыру и выйти где-нибудь в другом месте из белой дыры. Белая дыра — это пущенная вспять черная дыра. Это объект, из которого можно выйти, но в который нельзя попасть. Белая дыра могла бы быть где-то в другой части Вселенной. Похоже, это дало бы нам возможность для быстрых межгалактических путешествий. Беда в том, что эти путешествия могут оказаться слишком быстрыми. Если бы путешествие через черные дыры было возможно, то, похоже, ничто не помешало бы вам вернуться назад еще до того, как вы оттуда отбыли. Тогда вы можете совершить что-нибудь вроде убийства своей матери, что мешает вам занять начальную позицию.

Возможно, к счастью для нашего выживания (и для жизни наших матерей), физические законы не позволяют таких путешествий во времени. Похоже, существует какое-то Агентство защиты хронологии, не пускающее путешественников в прошлое и тем самым делающее мир безопасным для историков. Вот что может произойти, если кто-то проникнет в прошлое: под действием принципа неопределенности это произведет большое количество излучения; полученное излучение или так искривит пространство-время, что будет невозможно вернуться во времени, или пространство-время закончится в сингулярности наподобие Большого Взрыва или

Большого Сжатия. В любом случае наше прошлое будет защищено от злоумышленников. Гипотеза о защите хронологии поддерживается некоторыми недавними расчетами, проделанными мною и другими людьми. Но лучшим свидетельством того, что путешествия во времени невозможны и никогда не будут возможны, является тот факт, что к нам не вторгаются орды туристов из будущего.

Подведем итог: ученые верят, что Вселенной управляют четкие законы, в принципе позволяющие предсказывать будущее. Но движение, данное законами, часто хаотично. Из этого следует, что малейшее изменение начальной ситуации может привести к изменению в последующем поведении, и эти изменения быстро разрастаются. Поэтому на практике зачастую можно точно предсказать будущее только на короткое время. Однако поведение Вселенной в очень большом масштабе представляется простым и нехаотичным. Поэтому можно предсказать, будет ли она расширяться вечно или в конце концов начнет сжиматься. Это зависит от сегодняшней плотности Вселенной. На самом деле ее нынешняя плотность кажется очень близкой к критической, которая разделяет сжатие и вечное расширение. Если теория инфляции верна, Вселенная действительно находится на лезвии бритвы. Так что я, продолжая добрую традицию оракулов и пророков страховаться, предсказываю оба варианта.

ДИСКИ НЕОБИТАЕМОГО ОСТРОВА: ИНТЕРВЬЮ

Би-би-си начала транслировать передачу «Диски необитаемого острова» в 1942 году, и эта программа установила на радио рекорд долговечности. К настоящему времени она стала чем-то вроде национального достояния. За все эти годы программа приняла огромное количество гостей. В ней брали интервью у писателей, артистов, музыкантов, киноактеров и кинорежиссеров, деятелей спорта, комиков, поваров, садовников, учителей, танцоров, политиков, членов королевской семьи, мультипликаторов — и ученых.Guests (к ним всегда обращались как к потерпевшим кораблекрушение) просили выбрать восемь аудиозаписей, которые они взяли бы с собой, если бы им пришлось остаться в одиночестве на необитаемом острове. Их также просили назвать предмет роскоши (неодушевленный) и книгу (предполагалось, что соответствующий религиозный текст — Библия, Коран — уже есть на острове, так же как и сочинения Шекспира). Наличие средств воспроизведения считалось само собой разумеющимся. Рекламируя программу, обычно объявляли: «...Предполагается, что у вас есть граммофон и множество игл к нему». Сегодня предполагается, что для прослушивания записей есть заряжающийся от солнечного света CD-плеер.

Программа выходила в эфир каждую неделю, и в ходе интервью, продолжавшихся, как правило, сорок минут, проигрывали записи по выбору гостей. Однако представленное здесь интервью со Стивеном Хокингом, транслировавшееся на Рождество в 1992 году, в виде исключения продолжалось дольше. Интервью брала Сью Лоули.

Сью: Стивен, будучи отрезанным от нормальной физической жизни и лишенным всех естественных средств общения, вы в некотором роде уже знакомы

с заключением на необитаемом острове. Насколько вам одиноко от этого?

Стивен: Я не считаю себя отрезанным от нормальной жизни и не думаю, что окружающие меня люди сказали бы, что я одинок. Я не чувствую себя инвалидом — а просто человеком с поражением двигательных нейронов, вроде дальтоника. Полагаю, мою жизнь не назовешь нормальной, но в духовном смысле она нормальна.

Сью: Тем не менее, в отличие от многих выброшенных на необитаемый остров, вы уже доказали себе, что духовно и интеллектуально самодостаточны, что у вас хватает теорий и вдохновения, чтобы занять себя.

Стивен: Полагаю, я от природы немного интроверт, и мои трудности в общении заставили меня полагаться только на самого себя. Но в детстве я был разговорчивым. Мне нужны дискуссии с другими людьми. Я обнаружил, что изложение идей другим мне очень помогает. Даже если собеседники не высказывают ничего интересного, сама необходимость организовывать свои мысли так, чтобы они были понятны другим, часто подсказывала мне новый путь вперед.

Сью: А как же насчет эмоционального удовлетворения, Стивен? Даже блестящему физику для этого нужны другие люди.

Стивен: Физика — это прекрасно, но она холодна. Я бы не вынес жизни, в которой была бы только одна физика. Как и всем людям, мне нужны тепло, любовь и привязанность. И опять мне очень повезло, гораздо больше, чем многим другим, страдающим таким же недугом, — я получал массу любви и тепла. И музыка тоже много для меня значит.

Сью: Скажите, что доставляет вам больше удовольствия — физика или музыка?

Стивен: Должен сказать, что удовольствие, испытанное мною, когда что-то получалось в физике, сильнее, чем то, которое мне когда-либо доставляла музыка. Но получалось у меня лишь несколько раз за всю мою карьеру, в то время как диск можно поставить когда угодно.

Сью: И какой же диск вы поставили бы первым на необитаемом острове?

Стивен: «Gloria» Пуленка. Я впервые услышал ее прошлым летом в Аспене, Колорадо. Аспен прежде всего лыжный курорт, но летом там собираются физики. Рядом с физическим центром стоит огромный шатер, где проходит музыкальный фестиваль. Пока вы сидите, исследуя, что получается, когда испаряется черная дыра, слышно, как идут репетиции. Это идеально: тут сочетаются два главных удовольствия — физика и музыка. Если бы на необитаемом острове у меня были они оба, пусть бы меня оттуда и не вызволяли. То есть до тех пор, пока я не сделал бы в теоретической физике открытие, о котором захотелось бы рассказать всем. Думаю, спутниковая тарелка, благодаря которой я мог бы получать статьи по физике, уже не по правилам игры.

Сью: Выступая по радио, можно скрыть физические дефекты, но в данном случае маскируется еще кое-что. Семь лет назад, Стивен, вы в полном смысле слова потеряли голос. Не могли бы вы рассказать, что же тогда случилось?

Стивен: В 1985 году я был в Женеве, в CERN, на большом ускорителе частиц. Я собирался поехать оттуда в Байрейт, в Германию, послушать вагнеровское «Кольцо нибелунга». Но заболел воспалением легких и лег в больницу. Женевские врачи посоветовали

моей жене отключить аппарат, поддерживавший мою жизнь. Но жена не хотела и слышать об этом. Меня перевезли на самолете в больницу Адденбрук в Кембридже, где хирург по имени Роджер Грей провел трахеотомию. Операция спасла мне жизнь, но голоса я лишился.

Сью: Но к тому времени ваша речь и так была очень неразборчивой, не правда ли? Наверное, дар речи все равно покинул бы вас, да?

Стивен: Хотя моя речь и была неразборчивой, близкие меня понимали. Я мог проводить семинары с переводчиком и диктовать научные статьи. Но после операции я некоторое время был просто опустошен. Я чувствовал, что если вновь не обрету голос, то дальше жить не стоит.

Сью: Потом один компьютерщик из Калифорнии прочитал о вашем состоянии и прислал вам голос. Как он работает?

Стивен: Его звали Уолт Уолтосц. Его теща оказалась в том же состоянии, что и я, и он разработал компьютерную программу, чтобы помочь ей общаться. Курсор двигается по экрану и когда оказывается на нужной строке меню, вы движением головы или глаз — а в моем случае руки — нажимаете на ключ. Таким образом можно выбирать слова в нижней части экрана. Когда набрал то, что хочешь сказать, текст можно послать на речевой синтезатор или сохранить на диске.

Сью: Но это долгое дело.

Стивен: Да, долгое — примерно в десять раз медленнее нормальной речи. Но речевой синтезатор говорит гораздо отчетливее, чем я раньше. Британцы называют его акцент американским, а американцы — сканди-

навским или ирландским. Но каков бы он ни был, меня все понимают. Мои старшие дети привыкли к моему естественному голосу, но младший сын, которому во время трахеотомии было всего шесть лет, до того никак не мог меня понять. Теперь трудностей нет. Для меня это очень много значит.

Сью: Это также значит, что вы можете попросить заранее записать все вопросы интервьюера, и остается только ответить, когда будете готовы, так?

Стивен: Для записи длинных программ вроде этой хорошо иметь вопросы заранее, чтобы не тратить часами магнитную ленту впустую. В некотором смысле это дает мне больше возможности для контроля. Но на самом деле я предпочитаю отвечать на вопросы без подготовки. Так я делаю после семинаров и популярных лекций.

Сью: Но, по вашим словам, такой процесс дает вам возможность контроля, а я знаю, как это важно для вас. Ваша семья и друзья иногда называют вас упрямым и своевольным. Вы признаете себя виновным в этих грехах?

Стивен: Любого здравомыслящего человека иногда называют упрямым. Я бы сказал, что я скорее решительный. Не будь я довольно решительным, меня бы сейчас здесь не было.

Сью: Вы всегда были таким?

Стивен: Я просто хочу иметь ту же степень контроля над своей жизнью, что и другие. Слишком часто жизнью инвалида управляют другие. Ни один здоровый человек не примирился бы с этим.

Сью: Давайте послушаем ваш второй диск.

Стивен: Концерт для виолончели Брамса. Это был первый долгоиграющий диск, который я купил. Произошло

это в 1957 году, когда записи на 33 оборота в минуту в Британии только что появились. Мой отец считал покупку проигрывателя безрассудным транжирством, но я убедил его, что сам смогу собрать проигрыватель из купленных по дешевке частей. Как йоркширцу, этот довод показался ему убедительным. Я вставил вертушку и усилитель в корпус от старого граммофона на 78 оборотов. Если бы он сохранился, то сейчас представлял бы собой ценность.

Когда я соорудил этот проигрыватель, понадобилось что-то, чтобы крутить на нем. Один школьный товарищ предложил Концерт для виолончели Брамса, потому что ни у кого из моих друзей такой записи не было. Помню, пластинка стоила тридцать пять шиллингов, по тем временам большие деньги, особенно для меня. С тех пор цены на записи выросли, но в действительности они сейчас гораздо дешевле.

Когда я впервые услышал эту запись в магазине, мне ее звучание показалось странным и не очень понравилось, но я чувствовал, что должен ее похвалить. Однако с годами она стала для меня очень много значить. Мне бы хотелось проиграть ее медленную первую часть.

Сью: Один старый друг вашей семьи сказал, что во времена вашего детства она была (цитирую) «очень интеллектуальной, очень умной и очень эксцентричной». Оглядываясь в прошлое, считаете ли вы эту характеристику верной?

Стивен: Я не могу сказать, насколько моя семья была интеллектуальной, но мы определенно не считали себя эксцентричными. Однако по меркам Сент-Олбанса мы, наверное, такими могли показаться. Когда мы жили там, это было весьма благочинное место.

Сью: Ваш отец был специалистом по тропическим болезням?

Стивен: Мой отец проводил исследования в области тропической медицины. Он довольно часто ездил в Африку испытывать новые препараты.

Сью: Значит, большее влияние на вас оказала ваша мать, а если так, то как вы охарактеризуете это влияние?

Стивен: Нет, я бы сказал, что большее влияние оказал на меня отец. Я брал пример с него. Поскольку он был научным исследователем, я считал, что научные исследования — это основное занятие взрослых. Единственное различие было в том, что меня не привлекали медицина и биология, потому что не казались мне точными науками. Хотелось чего-то более фундаментального, и я выбрал для себя физику.

Сью: Ваша мать считает, что у вас всегда было, как она выразилась, «сильное чувство чуда». «Я видела, что его тянет к звездам», — сказала она. Вы помните это?

Стивен: Помню, как-то поздно ночью я приехал домой из Лондона. Тогда в целях экономии свет на улицах в полночь выключали. И я увидел ночное небо, каким не видел его никогда раньше, — с Млечным Путем поперек. На моем необитаемом острове не будет уличных фонарей, так что я смогу хорошо видеть звезды.

Сью: Очевидно, вы были одаренным ребенком, вы часто соперничали в домашних играх с вашей сестрой, но в классе вы могли очень отставать, и вас это вовсе не заботило, верно?

Стивен: Так было в мой первый год в сент-олбанской школе. Но должен сказать, я учился в очень одаренном классе и на экзаменах проявлял себя лучше, чем в повседневной работе. Я не сомневался, что мог

учиться очень хорошо, а отставал только из-за почерка и вообще из-за неаккуратности.

Сью: Запись номер три?

Стивен: На последнем курсе в Оксфорде я прочел роман Олдоса Хаксли «Контрапункт». В романе описываются тридцатые годы и действует множество персонажей. Большинство из них надуманные, но один, более человечный, несомненно копирует самого Хаксли. Этот персонаж убивает лидера британских фашистов — образ, нарисованный с сэра Освальда Мосли. Он сообщает партии о своем поступке и ставит пластинку со Струнным квартетом Бетховена, соч. 132. А в середине третьей части подходит на стук к двери и его убивают фашисты.

Вообще-то это никудышный роман, но Хаксли очень правильно выбрал музыку. Если бы я знал, что на мой остров надвигается цунами, я бы завел третью часть этого квартета.

Сью: Вы поехали в Оксфорд, в Университи-колледж, изучать математику и физику. Там вы трудились над своими расчетами в среднем час в день. Но, как я читала, вы с удовольствием занимались греблей, пили пиво и устраивали глупые шутки над людьми. В чем же было дело? Почему вы не утруждали себя работой?

Стивен: Был конец пятидесятых, и большинство молодежи утратило иллюзии насчет так называемого истеблишмента. Казалось, от будущего нечего ждать, кроме изобилия и еще большего изобилия. Консерваторы только что выиграли третьи выборы подряд под лозунгом «Еще никогда не было так хорошо». Мне и большинству моих современников жизнь казалась скучной.

Сью: Тем не менее вы умудрялись за несколько часов решать задачи, которые ваши товарищи не могли решить неделями. Судя по их высказываниям, они понимали, что у вас исключительный талант. А вы знали о своем таланте, как вам кажется?

Стивен: Курс физики в Оксфорде в то время был до смешного легким. Его можно было пройти, не слушая лекций, а просто посещая один-два семинара в неделю. Не требовалось запоминать много фактов, а так — несколько формул.

Сью: Но в Оксфорде — не так ли? — вы впервые заметили, что ваши руки и ноги делают не совсем то, что вы от них хотите. Как вы объясняли это себе в то время?

Стивен: Сказать по правде, первое, что я заметил, это то, что я не могу грести как нужно. Потом я упал с лестницы в студенческом общежитии. После этого я пошел к врачу, так как испугался, что, может быть, повредил мозг, но он не нашел ничего страшного и велел лишь меньше пить пива. После выпускных экзаменов в Оксфорде я на лето поехал в Иран. По возвращении я чувствовал себя очень ослабевшим, но думал, что это от сильного расстройства желудка, которое там перенес.

Сью: И когда же вы все-таки сдались, признав, что у вас действительно что-то серьезное, и решили обратиться к врачу?

Стивен: Я был тогда в Кембридже и на Рождество поехал домой. Зима 1962/63 года была очень холодной. Мама уговорила меня сходить в Сент-Олбансе на озеро покататься на коньках, хотя я и знал, что не вполне готов к этому. Я упал и встал с большим трудом. Мама поняла, что со мной что-то не так, и отвела меня к нашему семейному врачу.

Сью: Потом три недели в больнице. И вам сообщили о самом худшем?

Стивен: Это была больница Бартс в Лондоне, потому что там работал мой отец. Я пролежал две недели на обследовании, но мне не сказали, в чем дело, а только сообщили, что это не рассеянный склероз и что мой случай нетипичен. Мне не сказали, что меня ждет, но я догадывался, что дела плохи, и расспрашивать не хотелось.

Сью: В конце концов вам все-таки сказали, что жить осталось пару лет. Давайте, Стивен, на этом месте сделаем паузу и послушаем вашу третью запись.

Стивен: «Валькирия», действие первое. Это была другая долгоиграющая пластинка, где поют Мельхиор и Леман. Первоначально, еще до войны, она была записана на 78 оборотов, а потом, в шестидесятых, ее перенесли на долгоиграющую. После того как в 1963-м мне поставили диагноз «нейромоторное заболевание», я обратился к Вагнеру — он соответствовал моему мрачному, апокалиптическому состоянию духа. К несчастью, мой речевой синтезатор не очень хорошо образован и произносит «Вагнер», смягчая первый согласный. Мне пришлось набрать «Vargner», чтобы звучало примерно так, как надо*.

Четыре оперы цикла «Кольцо нибелунга» — это величайшее творение Вагнера. В 1964 году я ходил на них в Байрейте, в Германии, с моей сестрой Филиппой. В то время я знал «Кольцо» плохо, и «Валькирия», вторая опера тетралогии, произвела на меня огромное впечатление. Это была постановка Вольфганга Вагнера,

* Особенности английского произношения немецкой фамилии Wagner. — *Примеч. пер.*

и на сцене царила почти крошечная тьма. Это история любви двух близнецов, Зигмунда и Зиглинды, разлученных в детстве. Они встретились снова, когда Зигмунд нашел убежище в доме Хундинга, мужа Зиглинды и врага Зигмунда. Я выбрал отрывок с рассказом Зиглинды о ее вынужденной свадьбе с Хундингом. В разгар торжеств в зал входит какой-то старик. Оркестр играет тему Вальхаллы, одну из самых величавых в «Кольце», потому что это Вотан, предводитель богов, отец Зигмунда и Зиглинды. Он вонзает меч в ствол дерева. Меч предназначается Зигмунду. В конце акта Зигмунд хватается меч, и они с возлюбленной скрываются в лесу.

Сью: Когда читаешь о вас, Стивен, начинает казаться, что смертный приговор, оставивший вам всего пару лет жизни, пробудил вас, если хотите — заставил сосредоточиться на жизни.

Стивен: Его первое действие было — депрессия. Казалось, что мое состояние быстро ухудшается. Казалось, нет никакого смысла что-то делать, работать над диссертацией, поскольку я не знал, проживу ли достаточно для того, чтобы закончить ее. Но потом дела стали выправляться. Развитие болезни замедлилось, и я начал продвигаться в работе, в частности в своем доказательстве, что Вселенная должна была начаться с Большого Взрыва.

Сью: Вы даже сказали в одном интервью, что подумали, якобы вы теперь счастливее, чем были до болезни.

Стивен: Теперь я определенно счастливее. Раньше жизнь казалась мне скучной. Но перспектива умереть рано заставила меня понять, что жизнь стоит того, чтобы жить. Так много можно сделать, каждый может сделать так много! У меня действительно есть ощущение,

что, несмотря на свое состояние, я внес значительный вклад в человеческие знания. Конечно, мне очень везло, но любой может чего-то достичь, если приложит достаточно усилий.

Сью: Можете вы сказать, что не достигли бы всего этого, если бы не ваша болезнь, — или это было бы слишком просто?

Стивен: Нет, не думаю, что такое заболевание может стать для кого-то преимуществом. Но для меня оно стало меньшей бедой, чем для других, так как не помешало делать то, что я хотел. А хотел я попытаться понять, как устроена Вселенная.

Сью: Вашим вдохновителем в тот период, когда вы пытались ужиться со своим заболеванием, стала молодая женщина по имени Джейн Уайлд, с которой вы познакомились на вечеринке. Вы полюбили друг друга и поженились. Как бы вы оценили, какой частью вашего успеха вы обязаны Джейн?

Стивен: Без нее я бы не справился, это несомненно. Помолвка с Джейн вытащила меня из трясины уныния. А раз нам предстояло пожениться, мне нужно было получить работу и закончить диссертацию. Я начал усердно трудиться, и мне это понравилось. Мое состояние ухудшалось, и Джейн сама ухаживала за мной. На том этапе никто не предлагал нам помощи, а мы не могли себе позволить платить за уход.

Сью: И вместе вы бросили вызов врачам — и не только тем фактом, что продолжали жить, но и тем, что у вас были дети. В 1967 году у вас появился Роберт, в 1970-м — Люси, а в 1979-м — Тимоти. Насколько были потрясены врачи?

Стивен: Фактически, врач, поставивший мне диагноз, умыл руки. Он чувствовал, что ничего не может

поделать. После первоначального диагноза я его больше не видел. На самом деле моим врачом стал мой отец, и за советами я обращался к нему. По его словам, не было никаких свидетельств того, что болезнь передается по наследству. Джейн удавалось ухаживать за мной и двумя детьми. Только когда в 1974 году мы уехали в Калифорнию, нам понадобилась помощь со стороны, — сначала это был студент, живший вместе с нами, а потом сиделки.

Сью: Но теперь вы больше не вместе с Джейн.

Стивен: После трахеотомической операции мне круглосуточно нужна была сиделка. Это вносило все большую напряженность в наш брак. В конце концов я переехал в новую квартиру в Кембридже. Теперь мы живем раздельно.

Сью: Давайте еще послушаем музыку.

Стивен: «Битлз», «Please, Please Me». После моих четырех довольно серьезных привязанностей хотелось бы немножко развеяться. Для меня и многих других «Битлз» пришли как долгожданный глоток свежего воздуха среди затхлой и нездоровой поп-музыки. Воскресными вечерами я часто слушал лучшую двадцатку по «Радио Люксембург».

Сью: Несмотря на все свалившиеся на вас почести, Стивен Хокинг, — а я должна специально напомнить, что вы люкасовский профессор математики в Кембридже, когда-то это место занимал Исаак Ньютон, — вы решили написать популярную книгу о вашей работе. Полагаю, причина весьма простая — вы нуждались в деньгах.

Стивен: Хотя я и думал, что мог бы получить скромную сумму за популярную книжку, главная причина написания «Краткой истории времени» заключалась

в том, что мне нравилась эта работа. Я был под впечатлением открытий, сделанных за последние двадцать пять лет, и хотел рассказать о них людям. Я и не предполагал, что получится так здорово.

Сью: В самом деле, она побила все рекорды и попала в «Книгу рекордов Гиннеса» как книга, дольше всех продержавшаяся в списке бестселлеров, и держится в этом списке до сих пор. Похоже, никто не знает, сколько экземпляров уже продано во всем мире, но явно больше десяти миллионов. Очевидно, люди ее покупают, но вопрос в том, читают ли они ее?

Стивен: Я знаю, что Бернард Левин дошел лишь до двадцать девятой страницы, но я также знаю, что очень многие прочли дальше. Во всем мире люди подходят ко мне, чтобы сказать, как им понравилась моя книга. Возможно, не все дочитали ее до конца, многие поняли не все прочитанное, но уловили мысль, что мы живем во Вселенной, управляемой разумными законами, которые можем открыть и понять.

Сью: Именно ваши черные дыры захватили воображение общества и вызвали новый интерес к космологии. Вы когда-нибудь смотрели все эти «Звездные пути», где «смело ступают туда, где ни один человек не ступал раньше» и т. д.? А если смотрели, то как вам они понравились?

Стивен: Будучи подростком я читал много научной фантастики. Но теперь я сам работаю в этой области, и в основном научная фантастика кажется мне несколько поверхностной. Так легко написать о гиперпространстве, перемещающем или проводящем людей, если вам не приходится включать его в гармоничную картину мира. Настоящая наука гораздо более увлекательна, потому что она реальна. Фантасты никогда

и не предполагали наличия черных дыр, пока об этом не задумались ученые. Но теперь у нас есть надежные свидетельства существования черных дыр.

Сью: И что произойдет, если упадешь в черную дыру?

Стивен: Любой читатель научной фантастики знает, что случается, если упадешь в черную дыру. Вы превратитесь в спагетти. Но что интереснее — черные дыры не совершенно черные. Они постоянно испускают частицы и излучение. Это заставляет их постепенно испаряться, но что в результате происходит с черной дырой и ее содержимым, так и неизвестно. Это увлекательная область исследований, но научные фантасты еще не ухватились за нее.

Сью: И это упомянутое вами излучение конечно же назвали излучением Хокинга. Черные дыры открыли не вы, хотя вы продвинули знание о них, доказав, что они не совсем черные. Однако это открытие заставило вас основательно задуматься о происхождении Вселенной, не так ли?

Стивен: Сжатие звезды и образование черной дыры во многих отношениях напоминает расширение Вселенной, пущенное вспять. Звезды сжимаются из состояния с довольно низкой плотностью в состояние с очень высокой плотностью, а Вселенная расширяется из состояния с очень высокой плотностью к состоянию с меньшей плотностью. Тут есть важное различие: мы находимся вне черной дыры, но внутри Вселенной. Однако и та и другая характеризуются тепловым излучением.

Сью: Вы говорите, будто так и неизвестно, что же в конце концов происходит с черной дырой и ее содержимым. Но я думала, что бы ни происходило, теоретически в конце концов все исчезнувшее в черной дыре,

в том числе и астронавт, вернется в виде излучения Хокинга.

Стивен: Энергия массы астронавта вернется излучением из черной дыры. Но сам астронавт или даже частицы, из которых он состоял, не вернутся. Так что вопрос в том, что с ними произойдет. Они уничтожатся или перейдут в другую вселенную? Вот это мне и не терпится узнать. Но сам я прыгать в черную дыру не планирую.

Сью: Стивен, вы работаете по интуиции? То есть приходите к теории, которая вам нравится и привлекает вас, а потом пытаетесь доказать ее? Или как ученому вам всегда приходится прокладывать логический путь к заключению, и вы не пытаетесь заранее угадать результат?

Стивен: Я в очень большой степени полагаюсь на интуицию. Я пытаюсь угадать результат, но потом приходится его доказывать. На данном этапе я довольно часто обнаруживаю, что мои догадки не соответствуют истине, или, как в данном случае, обнаруживаю нечто такое, о чем никогда не думал. Так, стараясь доказать нечто другое, я обнаружил, что черные дыры не совсем черные.

Сью: Еще о музыке.

Стивен: Одним из моих любимых композиторов всегда был Моцарт. Он написал невероятно много. В этом году на мой пятидесятый день рождения мне подарили полное собрание его сочинений на CD — более двухсот часов музыки. Я все еще прокладываю путь через них. Один из величайших шедевров — его Реквием. Моцарт умер, не завершив его, и Реквием дописали его ученики по оставленным Моцартом фрагментам. Первая часть, которую мы собираемся прослу-

шать, — единственная, полностью написанная и про-
оркестрованная самим Моцартом.

Сью: Очень упрощая вашу теорию (надеюсь, вы про-
стите меня за это, Стивен), можно сказать, что раньше
вы верили, насколько я понимаю, в существование мо-
мента сотворения мира, в так называемый Большой
Взрыв, но больше не верите. Вы считаете, что не было
начала и не будет конца, что Вселенная самодостаточ-
на. Означает ли это, что не было никакого акта сотво-
рения и, следовательно, для Бога не остается места?

Стивен: Да, вы слишком упростили. Я по-прежнему
верю, что Вселенная имеет начало в реальном време-
ни — Большой Взрыв. Но есть другой вид времени —
мнимое время, направленное перпендикулярно к реаль-
ному, и во мнимом времени Вселенная не имеет ни на-
чала, ни конца. Это означает, что она могла возникнуть
по законам физики. Кто-то может сказать, что Бог ве-
лел Вселенной двигаться неким произвольным обра-
зом, недоступным нашему пониманию. Но это свиде-
тельствует не о существовании или отсутствии Бога,
а лишь о том, что у Него не было выбора.

Сью: Но если возможно, что Бога нет, как же вы объ-
ясните явления, лежащие за пределами науки, — лю-
бовь и веру, то, что люди имели и имеют в себе, да и ва-
ше собственное вдохновение?

Стивен: Любовь, вера и мораль относятся к другой
области знаний. Вы не можете вывести человеческие
поступки из физических законов. Но можно надеять-
ся, что логические заключения, которые делают фи-
зика и математика, приведут человека к моральному
поведению.

Сью: По-моему, многие считают, что вы фактичес-
ки обходитесь без Бога. Так вы отрицаете это?

Стивен: Мои труды показали только, что не нужно говорить, будто путь возникновения Вселенной был личным капризом Бога. Но вопрос остается: почему она потрудилась возникнуть? Если хотите, ответом на этот вопрос может быть вмешательство Бога.

Сью: Давайте поставим запись номер семь.

Стивен: Я очень люблю оперу. Сначала я подумал, не выбрать ли все восемь дисков с операми, от Глюка и Моцарта, включая Вагнера, до Верди и Пуччини. Но под конец я урезал их до двух. В первую очередь это должен был быть Вагнер, а вторым я в конце концов выбрал Пуччини. «Турандот» намного превосходит все остальные его оперы, и опять же, он умер, не закончив ее. Выбранный мною отрывок — рассказ Турандот о том, как в Древнем Китае принцессу похитили и увезли монголы. В отместку за это Турандот собирается задать поклонникам, просящим ее руки, три вопроса, а если те не смогут ответить, их ждет казнь.

Сью: Что для вас значит Рождество?

Стивен: Оно немного напоминает американский День благодарения — время, когда принято быть с семьей и благодарить за прошедший год. Это также время посмотреть вперед на грядущий год, символом которого и является рождение младенца в яслях.

Сью: А с материалистической точки зрения, каких бы подарков вы попросили? Или теперь вы такой состоятельный человек, что у вас всё есть?

Стивен: Я предпочитаю сюрпризы. Если просишь чего-то определенного, то не даешь дарителю свободы и возможности воспользоваться своим воображением. Но я ничего не имею против, если станет известно, что я обожаю шоколадные трюфели.

Сью: Пока что, Стивен, вы прожили на тридцать лет

дольше, чем вам предсказывали. У вас есть дети, хотя и говорили, что их у вас никогда не будет; вы написали бестселлер, вы перевернули в головах прежние представления о пространстве и времени. Что еще вы планируете сделать до того, как покинете эту планету?

Стивен: Все это оказалось возможным лишь благодаря везению: мне повезло, что я получил огромную помощь. Я рад тому, что мне уже удалось, но хотел бы сделать гораздо больше, прежде чем уйду. Не буду говорить о своей личной жизни, а в науке я хотел бы узнать, как объединить гравитацию с квантовой механикой и другими природными силами. В частности, я хочу узнать, что происходит с черной дырой, когда она испаряется.

Сью: И теперь последняя запись.

Стивен: Вам придется произнести ее название за меня. Мой речевой синтезатор — американец и во французском ни бум-бум. Эта запись — песня Эдит Пиаф «Je ne regrette rien»*. Как раз, чтобы подвести итог моей жизни.

Сью: А теперь, Стивен, если бы вы могли взять из этих восьми записей лишь одну, какая бы это оказалась?

Стивен: Должно быть, Реквием Моцарта. Я мог бы слушать его, пока не сядут батарейки в моем плеере.

Сью: А книга? Разумеется, собрание сочинений Шекспира и Библия ждут вас.

Стивен: Думаю, я взял бы «Миддлмарч» Джорджа Элиота. Кажется, кто-то сказал — возможно, Вирджиния Вулф, — что это книга для взрослых. Не уверен, что я достаточно взрослый, но взял бы ее для пробы.

* Je ne regrette rien (франц.) — я ни о чем не жалею. — *Примеч. пер.*

Сью: А предмет роскоши?

Стивен: Я попрошу большой запас крем-брюле. Для меня это олицетворение роскоши.

Сью: Значит, не шоколадные трюфели — вместо них большой запас крем-брюле. Доктор Стивен Хокинг, большое вам спасибо за возможность прослушать ваши диски необитаемого острова и счастливого вам Рождества!

Стивен: Спасибо, что выбрали меня. Желаю вам всем счастливого Рождества с моего необитаемого острова. Держу пари, у меня погода лучше, чем у вас.

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Введение</i>	5
1. Детство	8
2. Оксфорд и Кембридж	21
3. Моя жизнь с АБС	29
4. Отношение людей к науке	36
5. Краткая история «Краткой истории»	41
6. Моя позиция	49
7. Виден ли конец теоретической физике?	56
8. Мечта Эйнштейна	79
9. Происхождение Вселенной	96
10. Квантовая механика и черные дыры	112
11. Черные дыры и младенцы-вселенные	127
12. Все ли предопределено?	139
13. Будущее Вселенной	153
14. Диска необитаемого острова: <i>интервью</i>	169

Научно-популярное издание

СТИВЕН ХОКИНГ

Черные дыры и молодые вселенные

Ответственный редактор *Татьяна Уварова*
Художественный редактор *Алексей Горбачев*
Технический редактор *Татьяна Харитонова*
Корректор *Вера Дроздова*
Верстка *Максима Залиева*

Налоговая льгота — общероссийский классификатор
продукции ОК-005-93, том 2; 953000 — книги, брошюры.

Подписано в печать 19.06.2001.
Формат 80×100¹/₃₂. Печать высокая.
Усл. печ. л. 8,88. Тираж 10 000 экз.
Заказ № 934.

ИД № 02164 от 28.06.2000.
«Торгово-издательский дом „Амфора“».
197022, Санкт-Петербург, наб. реки Карповки, 23.
E-mail: amphora@mail.ru

Отпечатано с диапозитивов
в ФГУП «Печатный двор» им. А. М. Горького
Министерства РФ по делам печати,
телерадиовещания и средств массовых коммуникаций.
197110, Санкт-Петербург, Чкаловский пр., 15.

Торгово-издательский дом «Амфора» представляет

*«Эврика» — серия книг, рассказывающих
об истории и философии современной науки,
выходит в издательстве «Амфора»
с 2000 года. Эта серия была признана
«Серией года»
сразу несколькими экспертными советами.*

В серии вышли:

Стивен Хокинг

«Краткая история времени»

(От большого взрыва до черных дыр)

•

Поль де Крюи

«Охотники за микробами»

(Занимательная микробиология)

•

Айзек Азимов

«Краткая история химии»

(Развитие идей и представлений
в химии от алхимии до ядерной бомбы)

•

Барри Паркер

«Мечта Эйнштейна»

(В поисках единой теории строения Вселенной)



***По вопросам поставок
обращайтесь:***

Торгово-издательский дом «Амфора»

Москва:

ул. Судостроительная, д. 30,
корп. 1, подъезд 4
(рядом с метро «Коломенская»)
Телефон/факс: (095) 116-68-06

Санкт-Петербург:

197022, наб. реки Карповки, д. 23
Телефон/факс: (812) 346-04-51, 346-22-71