



Глава 1

В НАЧАЛЕ ВСЕХ НАЧАЛ

В начале всех начал была физика. Физика описывает поведение вещества, энергии, пространства и времени и то, как они взаимодействуют друг с другом. В нашем театральном представлении космических масштабов это взаимодействие лежит в основе всех биологических и химических явлений. По этой причине все фундаментальное и знакомое нам, землянам, начинается с законов физики и именно благодаря им возможно. Применяя эти законы к астрономическим декорациям, мы имеем дело с физикой астрономического масштаба и потому называем ее астрофизикой.

Практически в любой области научных изысканий, но особенно в физике, передовая научных открытий — словно линия на графике, которая соединяет точки экстремальных значений событий и ситуаций, отражающих наши возможности для их измерения. Для вещества такое экстремальное значение представляет собой район черной дыры, где гравитация серьезно искажает окружающий пространственно-временной континуум. На пике энергии при температуре 15 миллионов градусов в ядрах звезд протекает термоядерный синтез. Какое экстремальное значение ни возьми, оно всегда будет связано со скандально

высокой температурой и очень высокой плотностью, характерными для самых первых мгновений жизни нашей Вселенной. Чтобы понять, что происходит в каждом из таких случаев, необходимо вооружиться законами физики, открытыми после 1900 года, в так называемую физику современной эпохи (это позволяет отделить ее от классической эпохи, куда мы относим всю прочую физику с ее открытиями и теориями).

Одна из ключевых особенностей классической физики заключается в том, что описанные ею события, законы и прогнозы вполне разумны. Все они были открыты и проверены в обычных лабораториях в стенах обычных зданий. Законы тяготения и движения, электричество и магнитные свойства, природа и поведение тепловой энергии — обо всем этом до сих пор можно узнать на занятиях по физике в старших классах школы. Эти разоблачения тайн природы легли в основу индустриальной революции, изменяя культуру и общество так, как предыдущие поколения не могли себе и вообразить, они и по сей день остаются в центре всего происходящего в мире, являются первопричиной всех событий.

В то же время в современной физике ничего разумным не кажется, ведь все события происходят в условиях, лежащих далеко за пределами восприятия доступными человеку чувствами. Это, кстати, даже хорошо. Мы можем радостно заключить, что наша повседневная жизнь протекает совершенно отдельно от физики экстремальных состояний и значений. Вообразите свое самое обычное утро: вы просыпаетесь, бродите по дому, что-нибудь едите и уходите по делам. В конце дня ваши близкие рассчитывают увидеть вас таким же, каким вы были с утра, более того, они уверены, что вы вернетесь домой целым. Теперь представьте себе: вы приезжаете в офис, заходите в перегретый конференц-зал, где в 10 утра должно состояться важное собрание, — и вдруг теряете все до одного свои электроны. Или еще хуже — ваше тело рассыпается на миллионы отдельных атомов. Так себе, правда? Ладно, а теперь представим, что вы сидите у себя в кабинете и пытаетесь закончить работу при свете 75-ваттной настольной лампы. Вдруг кто-то

включает целых 500 ватт основного освещения — и в результате ваше тело начинает беспорядочно отскакивать от стены к стене, пока вас наконец не выкидывает прямо из окна. А что, если вы пойдете на матч по сумо сразу после работы, где два почти шарообразных джентльмена столкнутся, исчезнут и тут же превратятся в два столпа света, после чего покинут помещение в противоположных направлениях? Или, предположим, по дороге домой вы выбираете непривычный маршрут, и темное здание у обочины сначала затягивает ваши ноги, невероятно растягивая ваше тело с головы до ног и сжимая ваши плечи, а потом протаскивает вас сквозь узкое длинное отверстие в стене — и вас больше никто не увидит и не услышит...

Если бы подобные вещи происходили с нами в повседневной жизни, современная физика казалась бы нам гораздо менее странной. Наши знания основ относительности и квантовой механики были бы естественным отражением нашего жизненного опыта, а наши близкие, скорее всего, ни за что не отпускали бы нас на работу. Но в первые минуты существования Вселенной такие штуки происходили сплошь и рядом! Чтобы представить себе это и хотя бы приблизительно осознать, у нас нет иного выбора, кроме как поставить во главу угла новую форму здравого смысла — этакую адаптированную интуицию, подсказывающую, как именно ведет себя вещество и как законы физики описывают его поведение при экстремальных значениях температуры, плотности и давления.

Добро пожаловать в мир, где $E = mc^2$.

Впервые Альберт Эйнштейн опубликовал свое знаменитое уравнение в 1905 году в фундаментальной научной статье *Zur Elektrodynamik bewegter Körper*, которая вышла в ведущем немецком физическом журнале «*Annalen der Physik*»^{*}. Работа «К электродинамике движущихся тел» гораздо более известна как специальная теория относительности

^{*} *Annalen der Physik* — один из старейших научных журналов в мире, публикующий оригинальные статьи в области теоретической, экспериментальной, прикладной и математической физики; издается с 1799 года.

Эйнштейна: в ней были сформулированы понятия, навсегда изменившие наши представления о времени и пространстве. В 1905 году сотруднику патентного бюро в швейцарском городе Берне Эйнштейну было всего 26 лет. Позднее в этом же году он внес ряд дополнений к трактовке самого известного своего уравнения в новой выдающейся статье, уместившейся на двух с половиной страницах того же журнала, она называлась *Ist die Trägheit eines Körpers von seinem Energieinhalt abhängig?* — «Зависит ли инерция тела от содержащейся в нем энергии?». Не тратьте время на поиски оригинала статьи, эксперименты и тестирование теории Эйнштейна: ответ на этот вопрос — «да». Сам Эйнштейн писал:

*«Если тело излучает энергию E , его масса уменьшается на величину E/c^2 .
<... > Масса тела отражает его энергетическое содержание; если изменить энергию на E , масса изменится соответствующим образом».*

Не до конца убежденный в собственной правоте, он затем предполагает:

«Вполне вероятно, что данную теорию можно проверить на практике, изучив тела, для энергетического содержания которых характерны значительные изменения (например, как у радиевых солей)».

Вот он — алгебраический рецепт на случай, если вам захочется перевести вещество в энергию или энергию в вещество. $E = mc^2$: энергия равняется массе, умноженной на скорость света в квадрате. Эта формула — очень эффективный вычислительный инструмент, дарящий нам широкие возможности для познания и осознания Вселенной — от ее сегодняшнего состояния и до ничтожных долей секунды после зарождения космоса. Она позволяет определить, сколько энергии может излучать звезда или сколько вы выгадаете, переведя монеты из своего кармана в полезную форму энергии.

Наиболее знакомая всем форма энергии освещает все вокруг, хотя многие даже не догадываются о ее энергетической сути и не задумываются

о ее названии. Речь о фотоне — невесомой неделимой частице видимого света или любой другой формы электромагнитного излучения. Мы живем, постоянно купаясь в море из фотонов: они исходят от Солнца, Луны и звезд; духовок, люстр и ночников; сотен теле- и радиостанций; бесчисленных сигналов сотовых телефонов и радаров. Почему же мы не наблюдаем, как день за днем, каждый день, энергия превращается в вещество или наоборот? Дело в том, что энергия обычных фотонов слишком мала, много меньше выраженной через формулу $E = mc^2$ массы самых крохотных элементарных частиц. Такие фотоны производят слишком мало энергии, чтобы превратиться во что-либо еще, поэтому их удел — весьма незатейливое существование.

Хотите наглядный пример работы формулы $E = mc^2$? Обратитесь к фотонам гамма-излучения — в них как минимум в 200 000 раз больше энергии, чем в видимых фотонах. Вы очень быстро заболите раком и умрете, но перед этим вам удастся разглядеть пары электронов: один из вещества, а другой из антивещества (физики называют их электроном и позитроном соответственно). Как и множество подобных динамичных пар в нашей Вселенной, они будут появляться там, где раньше были фотоны. Вы также увидите, как эти пары электронов, сталкиваясь, аннигилируют и вновь превращаются в фотоны гамма-излучения.

Увеличим энергию фотонов еще в 2000 раз и получим гамма-лучи, энергии которых хватит на то, чтобы превратить предрасположенных к этому людей в зеленых монстров наподобие Халка. Пары таких фотонов обладают энергией, описанной уравнением $E = mc^2$ и достаточной для того, чтобы создавать такие частицы, как нейтроны, протоны и их «антиверсии» — античастицы, каждая из которых будет почти в 2000 раз превышать массой обычный электрон. Фотоны с высокой энергоемкостью существуют во многих космических горнилах мироздания.

Для гамма-излучения подходит практически любая среда температурой выше нескольких миллиардов градусов. Трудно переоценить

космологическую важность наличия частиц и квантовой энергии, превращающихся друг в друга. В данный момент температура нашей расширяющейся Вселенной, которую можно вычислить, измерив все микроволновые фотоны во всем мировом пространстве, составляет смешные 2,73 градуса по шкале Кельвина. В ней нет отрицательных температур: частицы с наименьшей энергией располагаются на нулевой отметке; комнатная температура составляет 295 градусов; вода кипит при 373 градусах. Как и фотоны видимого света, микроволновые фотоны выше любых суетных попыток превратиться в какие-то частицы под диктовку формулы $E = mc^2$. Проще говоря, нам неизвестны частицы со столь малой массой, что в них мог бы превратиться микроволновый фотон. То же самое можно сказать и о фотонах, которые составляют радиоволны, инфракрасный и видимый свет, а также ультрафиолетовые и рентгеновские лучи. Еще проще говоря, для преобразований частиц необходимо гамма-излучение. Однако вчера Вселенная была чуть меньше и чуть горячее, чем сегодня, а позавчера — еще чуть меньше и горячее. Теперь откатимся назад, скажем, на 13,7 миллиарда лет и окажемся в самой гуще первичного бульона, образовавшегося после Большого взрыва. Тогда температура космоса была достаточно высокой для того, чтобы представлять собой астрофизический интерес, а гамма-излучение постепенно наполняло Вселенную.

Расшифровка поведения пространства, времени, вещества и энергии от Большого взрыва до сегодняшнего дня — одна из величайших побед человеческого разума. Если вам требуется развернутое объяснение всего, что происходило еще раньше, когда Вселенная была меньше и горячее, чем когда-либо потом, вам нужно найти способ заставить четыре фундаментальных взаимодействия — гравитационное, электромагнитное, сильное и слабое ядерные — снова объединиться в одно целое и превратиться в единое метавзаимодействие. Вам также будет необходимо найти способ примирить между собой две физические дисциплины, которые в данный момент несовместимы друг с другом:

квантовую механику (науку о малом) и общую теорию относительности (науку о большом).

Воодушевленные относительно успешным объединением квантовой механики и электромагнетизма в середине XX века физики постепенно занялись объединением квантовой механики и общей теории относительности в единую стройную теорию квантовой гравитации. Хотя у них пока ничего путного не вышло, мы уже знаем, когда произошло все самое интересное: во время так называемой планковской эпохи. Она описывает стадию развития космоса вплоть до 10^{-43} секунд (это одна десятиллиардо-миллиардно-миллиардно-миллиардная доля секунды) от начала времен. Так как информация никогда не путешествует быстрее скорости света (3×10^8 м/с), гипотетический наблюдатель, расположившийся где угодно во Вселенной во время планковской эпохи, смог бы увидеть не далее чем на 3×10^{-35} м вокруг себя (это три стотриллиардно-миллиардно-миллиардных метра). Немецкий физик Макс Планк, в честь которого и были названы эти с трудом вообразимые времена и расстояния, выдвинул гипотезу о квантовой энергии в 1900 году. Сегодня Планк — главный кандидат в общепризнанные отцы квантовой механики.

Однако с точки зрения повседневной жизни волноваться совершенно не о чем. Разногласия квантовой механики и силы тяготения не представляют собой практических проблем для современной Вселенной. Астрофизики используют принципы и инструменты общей теории относительности и квантовой механики в работе над совершенно разными категориями задач. Однако в самом начале, в планковскую эпоху, большое было одновременно и малым, значит, должен существовать какой-то способ, пусть даже поневоле, реабилитировать отношения этой семейной пары. Да, как ни печально, клятвы, произнесенные тогда у космического алтаря, нам пока узнать не удастся, и потому ни один из известных нам законов физики не описывает достаточно убедительно, что же происходило во время краткого медового месяца Вселенной — до того, как ее расширение заставило большое и малое разойтись навсегда.

В конце планковской эпохи гравитация умудрилась отделиться от остальных, все еще объединенных сил природы и обрести независимые характеристики, которые замечательно описаны в наших сегодняшних теориях. Когда Вселенной исполнилось 10^{-35} секунд, она продолжила расширяться и остывать, и то, что оставалось от когда-то единой силы, постепенно разделилось на электрослабое и сильное ядерное взаимодействия. Еще чуть позже электрослабое взаимодействие поделилось на электромагнитное и слабое ядерное. Вот вам и четыре фундаментальных, хорошо знакомых взаимодействия: слабое управляет ядерным распадом, сильное удерживает вместе частицы атомного ядра, электромагнитное связывает отдельные атомы в целые молекулы, а гравитация помогает веществу образовывать крупные формы и структуры. К тому моменту, как Вселенной исполнилась одна миллиардная доля секунды, ее таинственно эволюционировавшие взаимодействия (а также еще несколько ключевых элементов) уже успели наделить космос своими фундаментальными свойствами, каждое из которых заслуживает отдельной книги.

Пока тянулась та бесконечная, первая в истории Вселенной одна миллиардная доля секунды, взаимодействие вещества и энергии не прекращалось. Незадолго до того, как сильное и электрослабое взаимодействия разделились (а также во время этого деления и после него), Вселенная состояла из кипящего океана кварков, лептонов и их сестер-античастиц, а также бозонов — частиц, которые помогали всем им взаимодействовать друг с другом. Исходя из данных, которыми мы обладаем сегодня, ни одно из этих семейств частиц не делится на что-либо еще меньшее по размеру (или «более базовое»). Однако при всей их фундаментальности в каждое из семейств, в свою очередь, входят несколько видов частиц. Фотоны — включая те, что представляют собой видимый свет, — относятся к семейству бозонов. Наиболее известные обывателю (но не физика!) лептоны — это электроны и, пожалуй, нейтрино, а самые общеизвестные кварки... на самом деле таких нет, потому что в повседневных условиях вы не встретите кварков самих по себе, они всегда формируют собой какие-то другие

частицы, например протоны и нейтроны. Каждому виду кварков было дано абстрактное название, не имеющее никакой филологической, философской или педагогической подоплеки. Единственная цель этих названий — помочь различать отдельные виды кварков: верхний кварк (u-кварк) и нижний кварк (d-кварк), странный (s-кварк) и очарованный (c-кварк), истинный (t-кварк) и прелестный (b-кварк)*.

Кстати, бозоны называются именно так в честь индийского физика Шатъендраната Бозе. Слово «лептон» происходит от греческого *leptos* — «легкий», «малый». У слова «кварк» происхождение названия имеет гораздо более художественный, даже литературный характер. Американский физик Мюррей Гелл-Ман, выдвинувший гипотезу о существовании кварков в 1964 году и в том числе предположивший, что в семействе кварков есть только три члена, выбрал для них имя из одной довольно туманной строки романа «Поминки по Финнегану» писателя Джеймса Джойса, где герой восклицает: «Три кварка для Мастера Марка!»** У кварков есть одно преимущество — у всех очень простые названия; химикам, биологам и геологам следовало бы поучиться у физиков тому, как давать изучаемому простые и удобные названия, а то они вечно мудрят с терминологией.

Кварки — довольно ловкие ребята. В отличие от протонов, каждый из которых обладает электрическим зарядом +1, и электронов с зарядом -1 каждый, кварки наделены дробными зарядами, кратными одной третьей. За исключением самых экстремальных условий вам никогда не встретится кварк, который гуляет сам по себе: он всегда крепко держит за руку еще кварк-другой. Более того, сила, которая удерживает кварки рядом, только *растет*, когда вы пытаетесь разделить

* U-кварк — сокр. от up quark; d-кварк — сокр. от down quark; s-кварк — сокр. от strange quark; c-кварк — сокр. от charmed quark; t-кварк — сокр. от top quark; b-кварк — сокр. от bottom quark.

** Three quarks for Muster Mark! (альтернативный перевод — «Три кварка для Мастера Марка!»). Предположительно, захмелевший мистер Марк хотел сказать «три кварта» (1 кварта = 1,14 литра), но язык не послушался его.

их, — словно они заключены в какое-то субъядерное эластичное кольцо, не дающее им расстаться. Правда, если все же развести их достаточно далеко, это «кольцо» лопнет. Энергия, высвобожденная при его разрыве, вспоминает о формуле $E = mc^2$ и приводит к созданию нового кварка на конце каждой половинки «кольца», за которые вы тянули... И все можно начинать сначала.

В эпоху кварков и лептонов, длившуюся первую миллиардную долю секунды в жизни космоса, Вселенная была достаточно плотной для того, чтобы разъединение свободных кварков в среднем существенно не отличалось от разъединения связанных кварков. В данных условиях было невозможно установить однозначные связи между соседними кварками, поэтому они просто свободно перемещались мимо друг друга. Экспериментальное обнаружение такого состояния вещества, которое по понятным причинам было названо кварковым бульоном, впервые было объявлено в 2002 году командой физиков Брукхейвенской национальной лаборатории (Лонг-Айленд, Нью-Йорк).

Наблюдения и теория вкупе позволяют предположить, что некое происшествие в самом начале после рождения Вселенной (возможно, в момент выделения из единого силового поля каких-то типов взаимодействия) наградило космос примечательной асимметрией: количество частиц вещества превысило количество частиц антивещества примерно на одну на миллиард. Сегодня вы и я существуем именно по этой причине. Эту крошечную разницу никто бы с ходу и не заметил в период бесконечного создания, аннигиляции и воссоздания кварков и антикварков, электронов и антиэлектронов (помните, они называются позитронами?), нейтрино и антинейтрино. В ту эпоху столь незначительного, казалось бы, преобладания вещества над антивеществом у этого самого «третьего лишнего» (а точнее, у «миллиарда первого» лишнего) было множество возможностей встретиться еще с какой-нибудь частицей и аннигилировать. Да что там — все так и делали!