

Глава 1

ЧЕЛОВЕК В СВОБОДНОМ ПАДЕНИИ

Осенью 1907 года Альберт Эйнштейн работал в стрессовых условиях. Ежегодник *Electronics and Radioactivity* попросил его прислать полный обзор теории относительности. Обобщить столь солидный труд за короткий срок было непросто, особенно если учесть, что работать приходилось исключительно в свободное время. С 8 утра до 6 вечера с понедельника по субботу Эйнштейн находился в Федеральном бюро патентования изобретений в только что построенном здании почты и телеграфа, где он тщательно изучал схемы вновь придуманных электрических устройств и пытался определить, есть ли в них какая-либо ценность. Начальник советовал ему: «Взяв в руки заявку, представь, что все написанное изобретателем — вранье», и Эйнштейн старательно следовал этому совету. Большую часть дня заметки и расчеты, связанные с его собственными теориями, лежали во втором ящике стола, который Эйнштейн называл своей «кафедрой теоретической физики».

Обзор Эйнштейна был призван закрепить торжественное объединение механики Галилео Галилея и Исаака Ньютона с теориями электричества и магнетизма Майкла Фарадея и Джеймса Клерка Максвелла. Он объяснял бы открытое несколькими годами раньше замедление хода часов при движении и уменьшение размеров движущихся тел. Он проливал бы свет на странную формулу, демонстрирующую взаимозаменяемость массы и энергии и утверждающую, что превысить скорость света невозможно. Обзор принципа относительности показал

бы, что почти вся физика должна определяться новым общим набором правил.

За несколько месяцев 1905 года Эйнштейн написал ряд работ, которые преобразовали физику. Во вдохновенном порыве он продемонстрировал, что свет ведет себя как пучки энергии, напоминающие частицы материи. Также им было показано, что хаотичные перемещения пылинок на поверхности налитой в блюдце воды вызваны молекулами воды, вибрирующими и отскакивающими друг от друга. Кроме того, он решил проблему, досаждавшую физикам почти полвека: почему кажется, что действие физических законов зависит от того, каким образом мы на них смотрим. Все это Эйнштейн систематизировал в своем принципе относительности.

И эти ошеломляющие открытия Эйнштейн сделал, работая скромным патентным экспертом в Берне и попутно анализируя научные и технические разработки того времени. В 1907 году он все еще находился там, так и не попав в, казалось бы, избегающие его высокие академические круги. На самом деле Эйнштейн мало напоминал человека, способного переписать часть основных физических законов. Во время обучения в высшей технической школе Цюриха он пропускал не интересные его лекции и восстанавливал против себя людей, которые могли бы пестовать его гений. Один из профессоров сказал ему: «Вы очень умный мальчик... Но у вас есть один недостаток: вы никогда не позволяете, чтобы вам на что-либо указывали». Из-за того, что научный руководитель запретил Эйнштейну работать над самостоятельно выбранной темой, его финальная работа оказалась столь унылой, что заслужила крайне низкий балл, впоследствии помешавший ему получить должность ассистента во всех университетах, куда он посылал заявки.

С момента выпуска в 1900 году до поступления на работу в патентное бюро в 1902 карьера Эйнштейна представляла

собой цепь неудач. Довершил его разочарование тот факт, что отправленная в 1901 году в Цюрихский университет докторская диссертация годом позже была отклонена. В представленной рукописи Эйнштейн опровергал ряд идей, выдвинутых одним из величайших физиков-теоретиков конца XIX века Людвигом Больцманом. Попытка иконоборчества потерпела фиаско. И докторскую степень он получил только в 1905 году за работу «Новое определение размера молекул». Для себя же Эйнштейн обнаружил, что степень «значительно облегчает взаимоотношения с людьми».

Пока он пробивал себе путь, его друг Марсель Гроссман шел к должности достопочтимого профессора кратчайшим путем. Именно благодаря дисциплинированному, старательному и любимому учителями Гроссману, который подробно и тщательно вел конспекты лекций, Эйнштейну удалось удержаться в университете. Во время обучения в Цюрихе Гроссман стал близким другом Эйнштейна и его будущей жены Милевы Марич. Все трое окончили университет одновременно. В отличие от карьеры Эйнштейна, карьера Гроссмана с самого начала шла гладко. В 1902 году он был назначен ассистентом в Цюрихе и в 1902 получил докторскую степень. После недолгой преподавательской деятельности Гроссман стал профессором начертательной геометрии в Швейцарской высшей технической школе в Цюрихе. Эйнштейну же не удавалось устроиться даже на место школьного учителя. И только благодаря рекомендации отца Гроссмана, знакомого с главой Федерального бюро патентования изобретений, Эйнштейн был взят на должность патентного эксперта.

Работа в бюро патентов стала для Эйнштейна благословением. После долгой финансовой нестабильности и зависимости от отца он, наконец, смог жениться на Милеве и начать семейную жизнь в Берне. Относительная монотонность ра-

боты с четко определенными задачами и отсутствием отвлекающих факторов создала идеальную среду для размышлений. За несколько часов Эйнштейн справлялся с текущими делами и мог сконцентрироваться на собственных проблемах. За маленьким деревянным столом в компании немногочисленных книг и бумаг со своей «кафедры теоретической физики» он мог мысленно ставить эксперименты. И в процессе этих, как он называл их по-немецки, *gedankenexperimenten*, Эйнштейн воображал ситуации и конструкции, позволяющие исследовать физические законы. В отсутствие настоящей лаборатории он прокручивал в голове тщательно моделируемые игры, инсценируя события, которые затем детально изучал. Эйнштейн хорошо знал математику и мог изложить результаты таких экспериментов на бумаге, создавая изысканные шедевры, в конечном счете поменявшие путь развития физики.

Владельцы патентного бюро были довольны работой Эйнштейна и повысили его до эксперта II класса, и это никак не было связано с появившейся у него научной репутацией. Эйнштейн все еще корпел над ежедневными порциями патентов, когда в 1907 году немецкий физик Йоханесс Штарк поручил ему обзор «О принципе относительности и вытекающих из него следствиях». На эту работу было отведено два месяца, и за это время Эйнштейн осознал, что выведенный им принцип относительности не универсален и требует тщательного пересмотра.

Статья в ежегоднике предполагалась как краткое изложение исходного принципа относительности, который гласил, что законы физики должны быть одинаковы в любой инерциальной системе отсчета. Лежащая в основе принципа идея была не нова и эксплуатировалась столетиями.

Законы физики и механики описывают движение, ускорение и замедление объектов под действием сил. В XVII веке английский физик и математик Исаак Ньютон сформулировал

законы, объясняющие реакцию объектов на механические силы. Они последовательно демонстрировали, что произойдет при столкновении двух бильярдных шаров, вылете пули из ружья или при подбрасывании мяча в воздух.

Инерциальной называется система отсчета, движущаяся с постоянной скоростью. Если вы читаете эту книгу, сидя на одном месте, например дома в кресле или за столиком в кафе, вы находитесь в инерциальной системе отсчета. Другим классическим примером является равномерно перемещающийся скорый поезд с закрытыми окнами. Находящийся внутри человек после достижения постоянной скорости движения не сможет определить, движется поезд или стоит. Обнаружить разницу между двумя инерциальными системами в принципе невозможно, даже если одна перемещается с большой скоростью, а вторая покоится. Результат измерения действующих на объект сил будет тождественным в любой из инерциальных систем. Законы физики работают во всех этих системах одинаково.

Деятнадцатый век породил совершенно новые законы, объединившие две основные силы: электричество и магнетизм. На первый взгляд эти явления не связаны друг с другом. Электричество — это лампочки у нас дома или молнии во время грозы, а с проявлениями магнетизма мы сталкиваемся, прикрепляя магнитики к холодильнику или определяя направление по компасу. Шотландский физик Джеймс Клерк Максвелл показал, что эти две силы можно рассматривать как различные проявления общей базовой силы, электромагнетизма, восприятие которой зависит от того, как именно движется наблюдатель. Человек, сидящий рядом с магнитным бруском, столкнется с магнетизмом, но не с электричеством. А вот при быстром круговом движении можно ощутить не только магнетизм, но и толику электричества. Максвелл скомпоновал две силы в одну, не зависящую от положения и скорости наблюдателя.

При попытке объединить ньютоновские законы движения с описывающими электромагнитное взаимодействие законами Максвелла возникает проблема. Если бы окружающий мир и в самом деле подчинялся этим законам, из магнитов, проводов и блоков можно было бы создать инструмент, не ощущающий воздействия сил в одной инерциальной системе, но способный регистрировать силу в другой, нарушая постулат о неразличимости инерциальных систем. Соответственно, создавалось впечатление, что законы Ньютона противоречат законам Максвелла. Эйнштейн хотел устранить эту «асимметрию».

За предшествующий публикациям 1905 года срок, проведя серию направленных на решение данной проблемы мысленных экспериментов, Эйнштейн разработал компактный принцип относительности. Результатом его умственных упражнений стали два постулата. По-новому был сформулирован сам принцип: проявления законов физики должны выглядеть одинаково в любой инерциальной системе отсчета. Второй постулат был более радикальным: в любой инерциальной системе отсчета скорость света всегда одинакова и составляет 299 792 километра в секунду. Именно эти постулаты позволили скорректировать ньютоновскую механику и законы движения таким образом, что при их объединении с законами электромагнитного взаимодействия Максвелла инерциальные системы оставались бы неразличимыми. Кроме того, новый принцип относительности Эйнштейна привел к ошеломительным результатам.

Последний постулат требует корректировки законов Ньютона. В классической Вселенной Ньютона скорость аддитивна. Свет фар движущегося автомобиля перемещается быстрее, чем свет стационарного источника. А во Вселенной Эйнштейна это не так. Существует предельная космическая скорость, равная 299 792 километрам в секунду. Этот барьер

не в состоянии преодолеть даже самая мощная ракета. Но возникает странный эффект. К примеру, человек, путешествующий в поезде, движущемся со скоростью, близкой к скорости света, будет стареть медленнее, чем человек, стоящий на платформе и наблюдающий, как этот поезд проходит мимо. А размер такого поезда во время движения оказывается меньше, чем во время стоянки. Время растягивается, а пространство сжимается. Эти странные вещи показывают, что в мире относительности время и пространство переплетены друг с другом и взаимозаменяемы.

Казалось бы, принцип относительности Эйнштейна упростил физику, но последствия при этом получались странные. И осенью 1907 года в процессе подготовки обзора ему пришлось признать, что хорошо работающая на первый взгляд гипотеза пока далека от завершения. В картину не укладывалась теория тяготения Ньютона.

До появления Альберта Эйнштейна Ньютон считался богом в мире физики. Его работы демонстрировались как пример ошеломляющего успеха современной мысли. В конце XVII века Ньютон объединил действующую на очень маленькие и на очень большие объекты силу тяжести в одно простое уравнение. Оно объясняло как космические явления, так и нашу повседневную жизнь.

Закон всемирного тяготения Ньютона, или «закон обратных квадратов», на удивление прост. Он гласит, что гравитационное притяжение между двумя объектами прямо пропорционально массе каждого из объектов и обратно пропорционально расстоянию между ними. При увеличении массы одного из объектов в два раза сила гравитационного притяжения также удваивается. А если в два раза увеличить расстояние между объектами, притяжение *ослабнет* в четыре раза. На протяжении двух веков закон Ньютона использовал-

ся для объяснения любых физических явлений. Наиболее ярким примером его применения стало обоснование орбит существующих планет, а также предсказание новых.

Во второй половине XVIII века появились данные о странной неустойчивости орбиты Урана. По мере накопления эмпирических сведений астрономы могли все больше уточнять маршрут движения этой планеты. Предсказание орбиты Урана — задача нетривиальная. Нужно в соответствии с законом всемирного тяготения Ньютона рассчитать влияние на Уран других планет, корректируя орбиту то с одной, то с другой стороны и все более ее усложняя. Астрономы и математики публиковали данные о перемещениях Урана в форме таблиц, позволяющих предсказать положение планеты в любой день и год. Но предсказания необъяснимо отличались от результатов последующих наблюдений.

Французский астроном и математик Урбен Леверье имел большой опыт расчетов астрономических орбит. Именно он рассчитал траектории перемещения различных планет Солнечной системы. Сосредоточив свое внимание на Уране, он первым делом предположил, что теория Ньютона верна. Ведь с другими планетами она дала прекрасные результаты. В этом случае единственным объяснением происходящего могло быть наличие некоего неучтенного до сих пор фактора. И Леверье сделал смелый шаг, предсказав существование новой условной планеты и рассчитав ее астрономическую таблицу. К его восторгу, немецкий астроном из Берлина Готтфрид Галле направил свой телескоп в соответствии с указанными в таблице координатами и обнаружил неизвестную большую мерцавшую планету. Как выразился Галле в письме к Леверье: «Месье, планета, положение которой вы указали, действительно существует».

Леверье воспользовался теорией Ньютона глубже, чем кто-либо другой, и был вознагражден за свою дерзость. Деся-

тилетиями Нептун называли «планетой Леверье». Марсель Пруст в цикле «В поисках утраченного времени» использовал открытие Леверье как аналогию процесса над парламентской коррупцией, а Чарльз Диккенс упомянул его при описании напряженной работы сыщиков в рассказе «Сыскная полиция». Ведь это был прекрасный пример применения фундаментальных правил научной дедукции. Греющийся в лучах славы Леверье обратил свои взоры к Меркурию. Орбита этой планеты тоже казалась странной и неожиданной.

В рамках ньютоновской механики изолированная планета должна вращаться вокруг Солнца по простой замкнутой орбите, имеющей форму сплющенного круга, то есть эллипса. Планета бесконечно следует по одной траектории, то подходя ближе к Солнцу, то удаляясь от него. Ближайшая к Солнцу точка планетарной орбиты, называемая перигелием, со временем не меняется. Орбиты некоторых планет, например Земли, представляют собой практически окружности, в то время как, к примеру, Меркурий движется по более эллиптическому контуру.

Учтя влияние всех прочих планет на орбиту Меркурия, Леверье обнаружил, что движение этой планеты не подчиняется закону всемирного тяготения; ее перигелий смещается примерно на 40 угловых секунд в столетие. (Угловой секундой называется внесистемная астрономическая единица измерения малых углов; небесный купол состоит из 1,3 миллиона угловых секунд, или 360 градусов.) Эту аномалию, известную как смещение перигелия Меркурия, Леверье не смог объяснить при помощи законов Ньютона. Присутствовало влияние дополнительного фактора.

И снова постулировав корректность законов Ньютона, Леверье в 1859 году предположил наличие недалеко от Солнца планеты Вулкан, размер которой примерно совпадал с раз-

мерами Меркурия. Это была крайне дерзкая и нелепая гипотеза. Как выразился сам Леверье: «Неужели очень яркую и расположенную недалеко от Солнца планету нельзя было заметить во время полного солнечного затмения?»

Гипотеза Леверье спровоцировала настоящую гонку за новой планетой. В течение десятилетий то и дело поступали сведения об обнаружении рядом с Солнцем некоего объекта, но при внимательном изучении информация не выдерживала критики. Поиск продолжался даже после смерти Леверье, но объяснить аномалию удалось и без помощи невидимой планеты.

Когда в 1907 году гравитационными взаимодействиями заинтересовался Эйнштейн, ему требовалось согласовать теорию Ньютона с собственным принципом относительности. В глубине души он понимал, что одновременно следует найти объяснение аномальной орбите Меркурия. Это была тяжелая задача.

Теория гравитационных взаимодействий Ньютона противоречила обоим постулатам красивого и лаконичного принципа относительности. Сила тяжести действует мгновенно. Как только два объекта оказываются рядом, между ними возникает гравитационное взаимодействие — время для его передачи от одного объекта к другому не требуется. Но как быть с тем, что в соответствии с принципом относительности ничто, никакой сигнал и никакой эффект не могут перемещаться со скоростью, превышающей скорость света? Фактически согласовавший механику и электромагнетизм, принцип относительности Эйнштейна не распространялся на гравитационные взаимодействия. Более того, ньютоновская гравитация по-разному выглядела в разных инерциальных системах отсчета.

Первый шаг на длинном пути к устранению данного противоречия и обобщению теории относительности был сделан в патентном бюро, где Эйнштейн сидел, погрузившись в собственные мысли. Годы спустя он вспоминал идею, позво-

лившую ему распространить свою теорию на гравитационные взаимодействия: «В свободном падении человек не чувствует собственного веса».

Поставьте себя на место провалившейся в кроличью нору Алисы, падению которой ничто не в силах помешать. Так как вы падаете под действием силы тяжести, скорость движения будет равномерно увеличиваться. Ускорение точно совпадает с гравитационным притяжением, и в результате ваше падение будет ощущаться как не требующее усилий — вы не почувствуете, что вас что-то подталкивает или тянет, хотя такое падение, без сомнения, внушит вам ужас, ведь вы мчитесь сквозь пространство. А теперь представьте, что вместе с вами падает ряд предметов: книга, чашка чая, белый кролик, пребывающий в такой же панике, как и вы. Движение всех этих объектов также будет равноускоренным, компенсируя силу тяжести. В результате они начнут парить вокруг вас в процессе вашего совместного падения. Если поставить эксперимент и попытаться определить движение этих объектов относительно вас и измерить силу тяжести, это ничего не даст. Вы будете чувствовать себя невесомым, невесомыми будут выглядеть и падающие вместе с вами объекты. Все это указывает на наличие тесной взаимосвязи между ускоренным движением и силой тяжести — в данном случае одно полностью компенсирует другое.

Возможно, свободное падение — излишне радикальный эксперимент. Слишком много отвлекающих факторов: в ушах свистит воздух, а мысль о том, что рано или поздно вы достигнете дна, мешает ясности мышления. Прделаем более простые и куда более спокойные действия. Представьте, что вы вошли в лифт на первом этаже высотного дома. В первые несколько секунд подъема, пока лифт ускоряется, вы чувствуете, что стали немного тяжелее. И наоборот, представьте движение в лифте вниз с последнего этажа. В первый момент, пока он

набирает скорость, вы ощутите легкость. Разумеется, после достижения максимальной скорости перемещения ваш вес меняться уже не будет. Но ускорение и замедление лифта сдвигают ваше восприятие собственного веса, а значит, и силы тяжести. Другими словами, ощущение силы тяжести зависит от того, разгоняетесь вы или тормозите.

В тот день 1907 года, когда Эйнштейн представил себе падающего человека, он понял, что между силой тяжести и ускорением существует тесная связь, которая и послужит ключом к двери, открывающей гравитационным взаимодействиям путь в его теорию относительности. Если отредактировать принцип относительности таким образом, чтобы сделать законы физики инвариантными по отношению не только к системам отсчета, движущимся с постоянной скоростью, но и к ускоряющимся или замедляющимся системам, он позволит добавить к комбинации механики и электродинамики еще и гравитационные взаимодействия. Полной уверенности в правильности выбранного пути не было, но именно это гениальное озарение стало первым шагом на пути к универсальной теории относительности.

Под давлением немецкого редактора Эйнштейн написал обзор «О принципе относительности и вытекающих из него следствиях». Туда он включил раздел, описывающий, что произойдет, если подправить принцип с учетом гравитационных взаимодействий. Вкратце были отмечены некоторые следствия, например то, что наличие гравитации меняет скорость света и заставляет часы двигаться медленнее. Обобщенный принцип относительности позволял объяснить даже дрейфующую орбиту Меркурия. Все эти перечисленные в конце статьи эффекты можно было использовать для проверки высказанной идеи, но их следовало проработать более тщательно и подробно. Все это могло подождать. И на несколько лет Эйнштейн оставил свою теорию.