

Глава 3

ГРАВИТАЦИЯ И ЧЕРНЫЕ ДЫРЫ

Это произошло несколько лет назад в прекрасный летний день, когда мы с отцом отправились к популярной среди скалолазов стене Гротто Уолл неподалеку от Аспена в штате Колорадо. Нашей целью был Твин Кракс — классический маршрут средней сложности. Пройдя его без инцидентов, я загорелся идеей преодолеть при помощи ИТО (искусственных точек опоры) более сложный маршрут — Криогеникс. При ИТО-скалолазании вы закрепляете на скале искусственные точки опоры, которые держат ваш вес, вместо того чтобы висеть на руках, пытаться нашарить ногой естественную неровность. Затем вы привязываете себя к репшнуру, который продевается через все вбитые в скалу железки, так что если вдруг камень, на котором вы повисли, не выдержит вашего веса, получившаяся стра-

ховочная конструкция удержит ваше падающее тело.

Криогеникс был прекрасным местом, чтобы попрактиковаться в ИТО-скалолазании, на мой взгляд, прежде всего потому, что большая часть маршрута проходит под отрицательным углом. Если вы сорветесь, то не обдерете свои бока о неровную стену, а свободно упадете вниз и повиснете на веревке. Ну или будете падать, пока не достигнете земли, но этот вариант выглядел не слишком привлекательным. Другим достоинством Криогеникса была трещина в пару пальцев шириной, проходящая через большую часть маршрута, так что я мог забить в нее столько креплений, сколько хотел.

Мой папа был согласен, поэтому я очертя голову ринулся на скалу и уже на маршруте понял, что в моем плане были некоторые недостатки. Порода внутри трещины оказалась непрочной, и потребовалось вбить много креплений, чтобы обеспечить надежную страховку. И хотя это был небольшой участок, он «съел» почти весь мой запас железа, так что когда я уже почти достиг вершины, у меня совсем не осталось этих замечательных приспособлений. На последний, наи-

более трудный для свободного лазания отрезок мне не хватило крючьев. Но я был почти у цели! Я поместил закладку в расширение трещины, встал на нее, и она выдержала. Тогда я поместил в ту же трещину гекс, поднялся на него, и в этот момент гекс выскочил, и я рухнул вниз. То, что произошло в следующее мгновение, выпало из моей памяти, но события достаточно легко восстановить.

Закладка вылетела вслед за гексом, и я ощутил себя в свободном падении. Вылетела следующая закладка. То, что произошло далее, называется «зипперингом», поскольку выглядит как расстегивание застежки-молнии. Если вылетает слишком много закладок, вы оказываетесь на земле. Причем каждая следующая закладка должна выдерживать все большую и большую нагрузку, поскольку по мере падения вы набираете скорость, а значит, увеличиваете импульс. И тут я ощутил резкий рывок: это был так называемый эксцентриковый френд — наиболее сложное приспособление из всего скалолазного арсенала. Он не был идеально закреплен, но он выдержал! Моего отца, страховавшего меня внизу, оторвало от земли — настолько сильным оказался рывок веревки.

Что же произошло? Я потратил некоторое время, изучая френд, прервавший мое падение. Он чуть-чуть выскочил из трещины и повернулся, но в целом держал надежно. Я проверил и укрепил пару закладок ниже френда и осторожно спустился вниз. Несколько минут я в задумчивости бродил по земле, размышляя, насколько же она твердая, после чего смотал веревку, вытащил из скалы оборудование, до которого смог дотянуться, и больше в этот день не предпринимал попыток восхождения.

Чему же научил меня Криогеникс? Во-первых, никогда не продолжать восхождение, если закончилось снаряжение. Во-вторых, падение не проблема, проблема — приземление. Я вернулся домой без единой царапины, потому что не ударился о землю, хотя и заработал двухминутное кровотечение из носа, — рывок, остановивший меня, был достаточно жестким, хотя и не шел ни в какое сравнение с возможным ударом о землю.

И наконец, самый важный урок гравитации, который можно извлечь из опыта свободного падения: вы не ощущаете гравитацию в процессе падения: в падении вы невесомы. Сходные ощущения можно испытать в лифте, когда он начинает дви-

жение вниз. Я хотел бы выразить чувство глубокой признательности гравитации за то, что она позволила мне испытать опыт свободного падения. Тогда, на Криогениксе, мне не хватило времени, чтобы оценить этот опыт, а может быть, я слишком переживал за свой рассудок, побывав в дюйме от смерти.

Черные дыры

Каково это: упасть в черную дыру? Будет ли это похоже на страшный жесткий удар? Или это будет бесконечное свободное падение? Что ж, давайте отправимся в короткое турне по свойствам черных дыр, в котором поищем ответы на эти вопросы.

Прежде всего, черные дыры — это объекты, из которых не может выбраться даже свет. Прилагательное «черная» в отношении черной дыры означает именно полнейшую тьму, отсутствие всякого излучения. Поверхность черной дыры называется горизонтом, поскольку никто, находящийся снаружи горизонта, не может видеть ничего, что происходит внутри, ибо для того, чтобы что-то увидеть, нужен свет, а свет не может

покинуть черную дыру. Принято думать, что черные дыры присутствуют в центрах большинства галактик. Они также считаются заключительным этапом эволюции массивных звезд.

Самое странное в черных дырах то, что на самом деле они — просто пустое пространство, за исключением сингулярности в центре. Это может показаться нонсенсом: ну как, скажите, один из самых массивных объектов в галактике может быть пустым? Ответ прост: вся масса внутри черной дыры коллапсирует в сингулярность. На самом деле мы не понимаем, что происходит в самой сингулярности. Все, что мы понимаем, это то, что сингулярность искажает пространство-время таким образом, что возникает окружающий ее горизонт. И все, что попадает под горизонт, в конце концов сжимается в точку в центральной сингулярности.

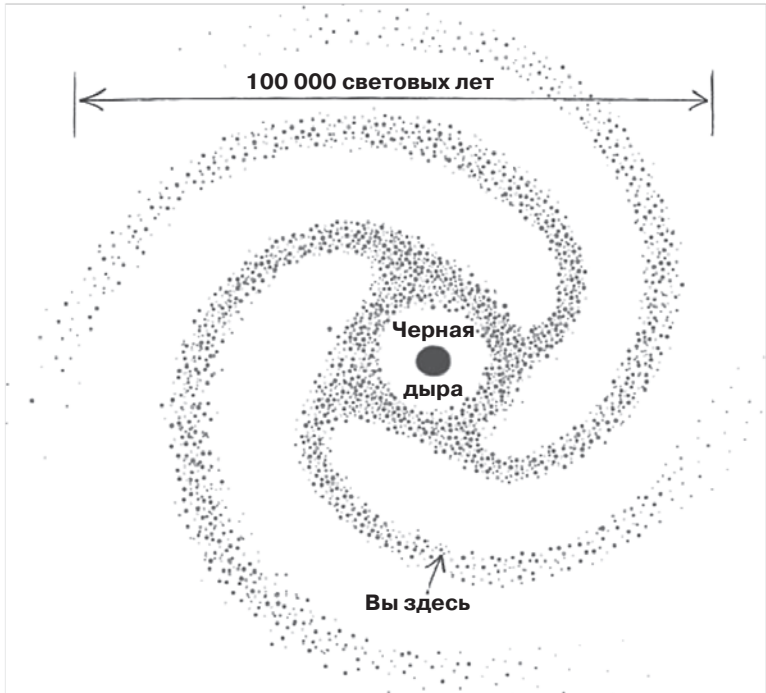
Представьте себе, что скалолазу «повезло» свалиться в черную дыру. Пересечение горизонта не причинит ему никакого вреда, поскольку там ничего нет, кроме пустого пространства. Скалолаз, вероятно, даже не заметит, как он пересечет горизонт. Беда в том, что нет и ничего, что могло бы остановить его падение, — вокруг него вплоть

до самой центральной сингулярности только пустое пространство. Единственная надежда скалолаза — его веревка. Но даже если веревка закреплена на самом прочном и надежном крюке в истории человечества, она не спасет нашего скалолаза.

Если крюк и выдержит, веревка наверняка либо порвется, либо будет растягиваться до тех пор, пока скалолаз не треснется о сингулярность. Если это случится, возникнет, наверное, самая катастрофическая коллизия, какую только можно вообразить, но мы об этом никогда не узнаем, потому что никто, кроме самого скалолаза, не сможет этого наблюдать. Ведь ни один луч света не может покинуть внутренности черной дыры.

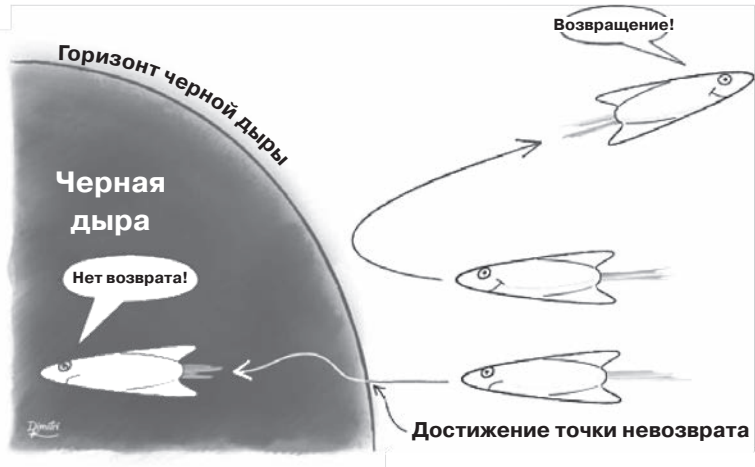
Главное, что следует уяснить, — гравитационные силы, действующие внутри черной дыры, абсолютно непреодолимы. После пересечения горизонта у нашего незадачливого скалолаза не больше шансов остановить свое падение, чем остановить время. И тем не менее ему не будет больно до тех пор, пока он не достигнет сингулярности, потому что весь путь он проделает в пустом пространстве. Скалолаз будет ощущать невесо-

мость, так же как я ощущал ее, падая с Криогеникса. Это важнейшее фундаментальное положение общей теории относительности: падающий в гравитационном поле наблюдатель ощущает в точности то же, что и наблюдатель, находящийся в пустом пространстве.



Вот еще одна аналогия, которая поможет понять ситуацию. Представьте себе горное озеро, из которого вытекает стремительный поток, заканчивающийся водопадом. Рыбы, живущие в озере, знают, что не следует подплывать слишком близко к водопаду, потому что если их унесет потоком,

- ◀ Вероятно, в центре нашей Галактики находится черная дыра. Считается, что масса этой черной дыры составляет около четырех миллионов масс Солнца. С точки зрения земного наблюдателя, центр Галактики находится в направлении созвездия Стрельца на расстоянии около 26 000 световых лет от нас. Реальные размеры черной дыры гораздо меньше, чем изображенная на рисунке область вокруг нее, свободная от звезд



то им уже никогда не вернуться обратно в озеро. Неразумная рыба, позволившая потоку утащить себя из озера, не почувствует никакой разницы по сравнению с плаванием в озере (по крайней мере, не сразу), но у нее не будет иного выбора, кроме как падать вниз вместе с окружающей ее водой. Озеро здесь выступает в качестве пространства снаружи горизонта, а водопад — в качестве внутреннего пространства черной дыры. Сингулярность же встретит рыбу в образе камня на дне водопада, достигнув которого рыба найдет свой мгновенный и кровавый конец. Можно предположить и другой исход: водопад плавно пере-

- ◀ Горизонт черной дыры — это точка невозврата. Звездолет может подлететь сколь угодно близко к горизонту, развернуться и улететь обратно, но если звездолет пересечет горизонт, он уже никогда не сумеет вырваться наружу

ходит в горизонтальный поток, который вливается в другое озеро, где рыба продолжит сытую и счастливую жизнь. Точно так же и в центре черной дыры вместо сингулярности может оказаться туннель, ведущий в другую вселенную. Все это кажется весьма надуманным, но, учитывая, что мы ничего не знаем о природе сингулярности в центре черной дыры, полностью исключать такую возможность нельзя.

Астрофизики сделают важную поправку к моему утверждению о том, что скалолаз ничего не чувствует, падая в черную дыру. Эта поправка связа-

на с приливными силами. Приливные силы называются так из-за того, что вызывают приливы и отливы. Луна притягивает к себе предметы, находящиеся на обращенной к ней стороне Земли, сильнее, чем на обратной.

Море поднимается на той стороне Земли, которая обращена к Луне. Но море также поднимается и на противоположной стороне, что может показаться нелогичным.

Проще всего объяснить это так: центр Земли притягивается Луной слабее, чем обращенная к Луне часть поверхности, а противоположная от Луны часть поверхности Земли притягивается слабее, чем центр. В результате Земля как бы растягивается лунным притяжением в направлении, соединяющем Землю и Луну.

Когда небесное тело, например звезда, приближается к черной дыре, она испытывает аналогичное воздействие: части звезды, находящиеся ближе к черной дыре, притягиваются ею сильнее, и звезду начинает растягивать в разные стороны. Приблизившаяся к горизонту черной дыры звезда в конечном итоге будет разорвана на куски. Разрывающие звезду силы складываются из приливных сил и сил, возникающих из-за вращения звез-

ды вокруг черной дыры. Для простоты будем игнорировать вращение, а рассмотрим только падение звезды в черную дыру. Чтобы еще больше упростить задачу, заменим звезду двумя свободно падающими наблюдателями, первоначально находящимися друг от друга на расстоянии, равном диаметру звезды. Траектории движения этих наблюдателей похожи на траектории движения ближайшей и наиболее удаленной от черной дыры частей поверхности звезды. Я буду называть наблюдателя, который находится ближе к черной дыре, ближним, а наблюдателя, который находится дальше, — дальним. Черная дыра притягивает ближнего наблюдателя сильнее, чем дальнего, потому что он находится на меньшем расстоянии от нее. Таким образом, ближний наблюдатель будет падать быстрее дальнего, в результате чего наблюдатели будут удаляться друг от друга по мере падения. С их точки зрения это будет выглядеть как действие некой силы, стремящейся растащить их. Очевидно, что приливные силы лишь отражают тот факт, что в каждый момент времени ближний наблюдатель притягивается черной дырой сильнее, чем дальний.

Приведу еще одну аналогию. Представьте себе колонну автомобилей, медленно движущихся друг

за другом. Когда первый автомобиль достигает места, где он может ускориться, он отрывается от следующих за ним. Второй автомобиль достигает того же места и ускоряется, но расстояние между ним и автомобилем, следующим впереди, продолжает увеличиваться. Примерно так же увеличивается расстояние между ближним и дальним наблюдателями, когда они начинают падать в черную дыру. Деформация звезды при падении в черную дыру — по существу то же самое явление, за исключением того, что для полностью реалистичного описания следовало бы дополнительно учитывать вращательное движение звезды вокруг черной дыры, а также замедление времени вблизи горизонта черной дыры.

Современные астрономы-наблюдатели ставят целью зафиксировать такие явления, как падения звезды в черную дыру или столкновения двух черных дыр. Ключевой идеей является попытка зарегистрировать всплеск гравитационного излучения, сопровождающий слияние двух массивных объектов. Гравитационное излучение — это не то, что вы можете наблюдать невооруженным глазом, поскольку глазами мы видим только свет. Гравитационное излучение — это нечто иное и более сложное. Гравитационная волна — это

распространяющееся возмущение пространства-времени. Так же как и световая волна, гравитационная волна переносит энергию. Как и световая волна, гравитационная имеет определенную частоту. Свет состоит из фотонов — частиц, или квантов, света, а гравитационное излучение, как мы предполагаем, переносится квантами, называемыми гравитонами. Они подчиняются тому же соотношению между частотой и энергией, $E = h\nu$, что и фотоны. Как и фотоны, они движутся со скоростью света и не имеют массы.

Поскольку гравитоны взаимодействуют с веществом гораздо слабее, чем фотоны, нет никакой надежды зарегистрировать их при помощи чего-либо, подобного фотоэлектрическому эффекту. Вместо этого для регистрации гравитационных волн используется уже описанный выше приливный эффект. Когда два объекта, разделенные некоторым расстоянием, оказываются на пути гравитационной волны, расстояние между ними начинает флуктуировать с частотой, равной частоте гравитационного излучения. Это происходит, потому что колеблется само пространство-время. Схема эксперимента по обнаружению гравитационных волн сводится к очень точному измерению расстояния между двумя объектами,

а затем длительному ожиданию, когда оно начнет флуктуировать. Обнаружение гравитационных волн откроет нам новое направление в исследовании Вселенной. Оно также послужит еще одним подтверждением справедливости общей теории относительности, предсказывающей, в отличие от теории Ньютона, существование гравитационных волн.

Общая теория относительности

На самом деле я уже рассказал достаточно много об общей теории относительности. Это теория пространства-времени, описывающая черные дыры и гравитационные волны. В общей теории относительности пространство-время не статическая сцена, на которой разыгрываются события, а постоянно изменяющееся искривленное геометрическое многообразие. Гравитационные волны похожи на круги, расходящиеся от брошенного в озеро камня, а черные дыры сродни стремительным потокам, вытекающим из этого озера. Обе аналогии несовершенны, потому что не содержат совершенно нового явления, присущего общей теории относительности, — гравитационного замедления времени.