



Маркус Чаун



ГРАВИТАЦИЯ

Последнее искушение Эйнштейна

Разгадав тайну гравитации,
мы сможем ответить
на величайшие вопросы
науки:

- Что такое пространство?
- Что такое время?
- Что такое Вселенная?
- Откуда все это взялось?



Annotation

Разгадав тайну гравитации, мы сможем ответить на величайшие вопросы науки: что такое пространство? Что такое время? Что такое Вселенная? Откуда все это взялось?

Прославленный научно-популярный автор Маркус Чаун приглашает вас в увлекательное путешествие — с того момента, как в 1666 году гравитация была признана физической силой, до открытия гравитационных волн в 2015 году. Близится тектонический сдвиг в наших представлениях о физике, и эта книга рассказывает, какие вопросы ставит перед нами феномен гравитации.

- [Маркус Чаун](#)
 - [Благодарности](#)
 - [Шесть фактов о гравитации, которые вы могли не знать](#)
 - [Предисловие](#)
 - [Часть I](#)
 - [1. Падающая Луна](#)
 - [Особенный](#)
 - [Одинокое плавание по волнам мысли](#)
 - [Всё дело в массе](#)
 - [Клуб одиноких сердец Матери-Природы](#)
 - [Читая книгу природы \(законы Кеплера\)](#)
 - [Объясняя книгу природы \(законы Ньютона\)](#)
 - [Падающая Луна](#)
 - [Вера в простоту](#)
 - [Двадцать два года молчания](#)
 - [Для дополнительного чтения](#)
 - [2. Последний из волшебников](#)
 - [«Начала», или Приручение Вселенной](#)
 - [Последний из волшебников](#)
 - [Для дополнительного чтения](#)
 - [3. Тебе грозят бедою воды марта](#)
 - [Что такое боры](#)

- [Под ударами приливных волн](#)
- [Приливы и их связь с Луной](#)
- [Приливы и их связь с Солнцем](#)
- [Приливы на суше: колодцы и ручьи](#)
- [Каменные приливы и БАК](#)
- [Лунотрясения](#)
- [Как замедлить Луну](#)
- [Как замедлить Землю](#)
- [Луна: попытка к бегству](#)
- [Наблюдение полных затмений](#)
- [Планета, которая преследовала Землю](#)
- [Луна не всегда двигалась с такой скоростью](#)
- [Лунная пицца](#)
- [Загадка Плутона и Харона](#)
- [Водные луны](#)
- [Предварение равноденствий](#)
- [Для дополнительного чтения](#)
- [4. Карта невидимого мира](#)
 -
 - [Растяжение во все стороны](#)
 - [Планета по имени Георг](#)
 - [Охота на невидимую планету](#)
 - [Девятая планета](#)
 - [Экзопланеты](#)
 - [Невидимая Вселенная](#)
 - [Вулкан](#)
 - [Неразгаданная загадка](#)
 - [Для дополнительного чтения](#)
- [Часть II](#)
 - [5. Поймай меня, если сможешь](#)
 -
 - [Увидеть невозможное](#)
 - [Патентный рай](#)
 - [Бесконечная скорость света](#)
 - [Расширение времени](#)
 - [Время и пространство не абсолютны](#)
 - [Два краеугольных камня относительности](#)
 - [Основы относительности](#)
 - [Пространство-время](#)

- [Масса и энергия](#)
- [E = mc²](#)
- [Выводы о теории относительности](#)
- [Для дополнительного чтения](#)
- [6. Ода падающему человеку](#)
 -
 - [Путешествие на ракете](#)
 - [Линейное ускорение подразумевает искривлённое пространство](#)
 - [Угловое ускорение подразумевает искривлённое пространство](#)
 - [Искривлённое время](#)
 - [Искривлённое пространство-время](#)
 - [Голос космоса](#)
 - [Математика искривлённого пространства](#)
 - [Эйнштейн в Берлине](#)
 - [Ноябрь 1915 года: Гилберт](#)
 - [Аномальное движение Меркурия](#)
 - [Уравнения поля Эйнштейна](#)
 - [Искривление света под воздействием гравитации](#)
 - [Повесть о двух затмениях](#)
 - [Для дополнительного чтения](#)
- [7. Когда Бог делит на ноль](#)
 -
 - [Квантовые звёзды](#)
 - [Предел Чандрасекара](#)
 - [Нейтронные звёзды](#)
 - [Большой взрыв](#)
 - [Стрела времени](#)
 - [Теоремы о сингулярности](#)
 - [Квантовая гравитация](#)
 - [Для дополнительного чтения](#)
- [Часть III](#)
 - [8. Квантовое пространство-время](#)
 -
 - [Кванты](#)
 - [Случайная реальность](#)
 - [Корпускулярно-волновой дуализм](#)
 - [Множественные реальности](#)

- [Сверхзвуковое воздействие](#)
- [Принцип неопределённости](#)
- [Распад пространства-времени](#)
- [Выход есть — и даже без экспериментов](#)
- [9. Неизведанная страна](#)
 -
 - [Сила дедукции](#)
 - [Стандартная модель](#)
 - [Струны в космосе](#)
 - [Плюсы и минусы теории струн](#)
 - [Сила браны](#)
 - [Чёрные дыры](#)
 - [Голографическая Вселенная](#)
 - [Что такое пространство](#)
 - [Поразительная дуальность](#)
 - [В поисках Нигде](#)
 - [Вверх — это новое вниз](#)
 - [Нужна ли нам новая идея?](#)
 - [Неизведанная страна](#)

- [notes](#)

- [1](#)
- [2](#)
- [3](#)
- [4](#)
- [5](#)
- [6](#)
- [7](#)
- [8](#)
- [9](#)
- [10](#)
- [11](#)
- [12](#)
- [13](#)
- [14](#)
- [15](#)
- [16](#)
- [17](#)
- [18](#)
- [19](#)

- [20](#)
- [21](#)
- [22](#)
- [23](#)
- [24](#)
- [25](#)
- [26](#)
- [27](#)
- [28](#)
- [29](#)
- [30](#)
- [31](#)
- [32](#)
- [33](#)
- [34](#)
- [35](#)
- [36](#)
- [37](#)
- [38](#)
- [39](#)
- [40](#)
- [41](#)
- [42](#)
- [43](#)
- [44](#)
- [45](#)
- [46](#)
- [47](#)
- [48](#)
- [49](#)
- [50](#)
- [51](#)
- [52](#)
- [53](#)
- [54](#)
- [55](#)
- [56](#)
- [57](#)
- [58](#)

- [59](#)
- [60](#)
- [61](#)
- [62](#)
- [63](#)
- [64](#)
- [65](#)
- [66](#)
- [67](#)
- [68](#)
- [69](#)
- [70](#)
- [71](#)
- [72](#)
- [73](#)
- [74](#)
- [75](#)
- [76](#)
- [77](#)
- [78](#)
- [79](#)
- [80](#)
- [81](#)
- [82](#)
- [83](#)
- [84](#)
- [85](#)
- [86](#)
- [87](#)
- [88](#)
- [89](#)
- [90](#)
- [91](#)
- [92](#)
- [93](#)
- [94](#)
- [95](#)
- [96](#)
- [97](#)

- [98](#)
- [99](#)
- [100](#)
- [101](#)
- [102](#)
- [103](#)
- [104](#)
- [105](#)
- [106](#)
- [107](#)
- [108](#)
- [109](#)
- [110](#)
- [111](#)
- [112](#)
- [113](#)
- [114](#)
- [115](#)
- [116](#)
- [117](#)
- [118](#)
- [119](#)
- [120](#)
- [121](#)
- [122](#)
- [123](#)
- [124](#)
- [125](#)
- [126](#)
- [127](#)
- [128](#)
- [129](#)
- [130](#)
- [131](#)
- [132](#)
- [133](#)
- [134](#)
- [135](#)
- [136](#)

- [137](#)
- [138](#)
- [139](#)
- [140](#)
- [141](#)
- [142](#)
- [143](#)
- [144](#)
- [145](#)
- [146](#)
- [147](#)
- [148](#)
- [149](#)
- [150](#)
- [151](#)
- [152](#)
- [153](#)
- [154](#)
- [155](#)
- [156](#)
- [157](#)
- [158](#)
- [159](#)
- [160](#)
- [161](#)
- [162](#)
- [163](#)
- [164](#)
- [165](#)
- [166](#)
- [167](#)
- [168](#)
- [169](#)
- [170](#)
- [171](#)
- [172](#)
- [173](#)
- [174](#)
- [175](#)

- [176](#)
- [177](#)
- [178](#)
- [179](#)
- [180](#)
- [181](#)
- [182](#)
- [183](#)
- [184](#)
- [185](#)
- [186](#)
- [187](#)
- [188](#)
- [189](#)
- [190](#)
- [191](#)
- [192](#)
- [193](#)
- [194](#)
- [195](#)
- [196](#)
- [197](#)
- [198](#)
- [199](#)
- [200](#)
- [201](#)
- [202](#)
- [203](#)
- [204](#)
- [205](#)
- [206](#)
- [207](#)
- [208](#)
- [209](#)
- [210](#)
- [211](#)
- [212](#)
- [213](#)
- [214](#)

- [215](#)
- [216](#)
- [217](#)
- [218](#)
- [219](#)
- [220](#)
- [221](#)
- [222](#)
- [223](#)
- [224](#)
- [225](#)
- [226](#)
- [227](#)
- [228](#)
- [229](#)
- [230](#)
- [231](#)
- [232](#)
- [233](#)
- [234](#)
- [235](#)
- [236](#)
- [237](#)
- [238](#)
- [239](#)
- [240](#)
- [241](#)
- [242](#)
- [243](#)
- [244](#)
- [245](#)
- [246](#)
- [247](#)
- [248](#)
- [249](#)
- [250](#)
- [251](#)
- [252](#)
- [253](#)

- [254](#)
 - [255](#)
 - [256](#)
 - [257](#)
 - [258](#)
 - [259](#)
 - [260](#)
 - [261](#)
 - [262](#)
 - [263](#)
 - [264](#)
 - [265](#)
 - [266](#)
 - [267](#)
 - [268](#)
 - [269](#)
 - [270](#)
 - [271](#)
 - [272](#)
 - [273](#)
 - [274](#)
 - [275](#)
 - [276](#)
 - [277](#)
 - [278](#)
 - [279](#)
 - [280](#)
 - [281](#)
 - [282](#)
 - [283](#)
-

Маркус Чаун

Гравитация

Последнее искушение Эйнштейна

*Посвящается Майку и Клэр, Вэл и Пэт, Морин и
Питу.*

С любовью, Маркус

*Стыдно сказать: на дворе XXI век, а мы до сих пор
не знаем, как работает гравитация.*

Вуди Норрис

Благодарности

Я хотел бы сказать спасибо людям, которые помогали мне, вдохновляли и поддерживали меня во время работы над этой книгой. Это Карен, Беа Хеммин, Фелисити Брайан, Пол Мерфи, Мишель Тофам, Манжит Кумар, Томас Левенсон, Дэвид Тонг, Энди Гамильтон, Ли Смолин, Нима Аркани-Хамед, Джон Инглиш, Тэш Оу, Грэм Фармело, Дэвид Берман, Геннадий Горелик, Нил Турок, Нил Белтон, Брайан Мей, Джулия Бейтсон, Ник Бут, Джонатон Таллет, Дэниэл Таллет, Хосе Тейт, Барбара Брайтон-Пелл, Патрик О'Хэллоран, Сью Нойс, Грэм Нойс, Брайан Чилвер, Пэт Чилвер, Жан Дайк, а также Аманда, Сэм, Грейс и Роб Кейпуэллы.

Шесть фактов о гравитации, которые вы могли не знать

1

Гравитация создаёт притяжение между вами и монетками у вас в кармане или между вами и прохожим на улице.

2

Гравитация ужасно слабая. Если вы вытянете руку, то напряжение ваших мышц окажется сильнее, чем гравитация всей Земли.

3

Несмотря на её слабость, гравитации в большом масштабе нельзя противостоять. Она контролирует эволюцию и судьбу всей Вселенной.

4

Многие считают, что гравитация — это полная ерунда. В большей части Вселенной так оно и есть.

5

Если бы гравитация не «включилась» после Большого взрыва, у времени не было бы направления.

6

Только постигнув гравитацию, можно ответить на самый важный вопрос: как появилась Вселенная?

Предисловие

В Ливингстоне, штат Луизиана, и Хэнфорде, штат Вашингтон, расположены лазерные установки длиной по 4 километра. Четырнадцатого сентября 2015 года в 05:51 по летнему восточному времени по установке в Ливингстоне прошла дрожь. Через 6,9 миллисекунды она достигла установки в Хэнфорде. Ошибки быть не могло: через обе установки прошла гравитационная волна, рябь на поверхности самой ткани пространства-времени, предсказанная Эйнштейном почти 100 лет назад.

В одной далёкой-далёкой галактике во времена, когда Землю населяли лишь бактерии, две огромные чёрные дыры сделали последний оборот в своём смертельном танце и слились в поцелуе. Масса, равная массе трёх солнц, исчезла в секунду, подняв цунами в пространстве-времени. Волна двигалась со скоростью света, и в какой-то момент её мощность в 50 раз превысила мощность всех звёзд во Вселенной.

Когда двойные детекторы Лазерно-интерферометрической обсерватории гравитационных волн (Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory, LIGO) 14 сентября 2015 года засекали гравитационные волны, это стало эпохальным моментом в истории науки. Представьте, что вы были глухи от рождения, а однажды утром проснулись с идеальным слухом. То же чувствовали в тот момент физики и астрономы. В течение всей нашей истории мы лишь наблюдали Вселенную, а теперь смогли услышать её. Гравитационные волны — это голос космоса. Я почти не преувеличу, если скажу, что их открытие стало самым важным достижением в астрономии с момента изобретения телескопа в 1608 году.

Гравитационные волны доказывают, что пространство-время существует на самом деле, что оно может вздрагивать и сжиматься, распространяя рябь, как от камня, брошенного в пруд. Его существование окончательно доказывает гипотезу Эйнштейна о том, что гравитация представляет собой искривлённое пространство-время. Ньютон считал, что «сила» гравитации идёт от Солнца и опутывает Землю как невидимая эластичная сеть. Эйнштейн же полагал, что вокруг Солнца пространство-время продавливается и Земля вращается по этой впадине бесконечно, как шарик по огромной рулетке.

Несмотря на то что теория Ньютона очень успешно объяснила движение планет, природу приливов и отливов и даже предсказала существование тогда ещё неведомого мира (планеты Нептун), теория

Эйнштейна сумела найти ответ на загадку аномального движения Меркурия и описала наличие чёрных дыр, а также Большой взрыв, из которого родилась Вселенная. Тем не менее в теории Эйнштейна, как и до неё в теории Ньютона, содержатся зачатки её собственной гибели. Согласно ей, и в центрах чёрных дыр, и в момент зарождения Вселенной должны были существовать сингулярности, в которых все физические параметры имеют бесконечно высокие значения.

Забавно, что первая сила, описанная наукой, та, которую мы считаем уже давно понятной человечеству, на самом деле изучена хуже всего. Говоря словами Уинстона Черчилля, гравитация — это «тайна внутри загадки, обёрнутая в секрет».

В начале XXI века мы стоим на пороге новой революции. Поиск более эффективной теории, чем теория Эйнштейна, — квантовой теории гравитации — одно из величайших предприятий, за которые когда-либо бралась физика. Но мы уже видим перед собой далёкое завораживающее мерцание нового мира. Возможно, новый Ньютон или Эйнштейн прямо сейчас ждёт своего часа и уже начинает собирать фрагменты головоломки в единое целое. Или, что более вероятно, чтобы сложить её, потребуются совместные усилия десятков людей. Многие учёные полагают, что мы стоим на пороге гигантского сдвига в нашем представлении о реальности, большего, чем когда-либо происходил с человечеством.

Сможем ли мы создавать гиперпространственные двигатели и машины времени, когда появится эта теория? Даст ли она нам возможность манипулировать пространством и выходить в параллельные Вселенные? Никто не может этого предвидеть, как в эпоху до открытия электричества нельзя было предсказать появление телевизоров, телефонов и Интернета. Но мы знаем наверняка: когда эта теория будет сформулирована, мы сможем ответить на самые важные научные вопросы на свете. Что такое пространство? Что такое время? Что такое Вселенная? И откуда это всё появилось?

Но я забегаю вперёд. Сегодня мы стоим на краю обрыва, и перед нами до горизонта расстилаются земли неисследованной физики. Но как мы здесь оказались? Всё началось с 22-летнего парня по имени Исаак Ньютон в чумном 1666 году...

Примечание автора

Хочу сказать пару слов о пояснениях, которые читатели найдут после заключительной главы этой книги. Одни из них — это отступления от темы, которые могли бы слишком усложнить основной текст. Другие же дополняют объяснения, приведённые в тексте, иногда с использованием

технических терминов. А некоторые представляют собой ссылки на книги и статьи, где вы можете более подробно прочесть о теме, затронутой в тексте.

Часть I

Ньютон

1. Падающая Луна

О том, как Ньютон открыл первый универсальный закон, который действует в любом месте и в любое время.

Ибо в те дни я был в расцвете сил для изобретательства и более чем когда-либо впоследствии размышлял о математике и философии.

Исаак Ньютон^[1]

Ты потерял сознание, и я тебя подхватил. Впервые в жизни я держал в руках другого человека. У тебя такие тяжёлые кости. Я встал между тобой и гравитацией. Невероятно.

Элизабет Нокс. «Удача винодела»^[2]

— Итак, мистер Ньютон, как вам в голову пришла идея закона всемирного тяготения?

Разговор происходит в саду усадьбы Вулсторп спустя полвека после знаменательного события. Через стол от пожилого натурфилософа, о котором сегодня говорят все, сидит юный священник и археолог Уильям Стьюкли, взявший на себя тяжёлый труд написать первую биографию Исаака Ньютона. Где-то в саду журчит ручей, а в поле за оградой то и дело блеют ягнята. На густую траву перед ними садится ворон, что-то склёвывает с земли и улетает прочь.

Старик раздумывает над вопросом, отбрасывает свои длинные седые волосы с лица и произносит

— Мистер Стьюкли, видите вон то дерево?

— Вижу.

— Одним тёплым весенним днём 1666 года — погода стояла почти как сегодня — я сидел на этом самом месте со своими записями, и тут с дерева упало яблоко...

Великие люди создают свои легенды сами. Историю о яблоке Ньютон рассказал своему биографу уже под конец жизни в саду усадьбы Вулсторп,

Линкольншир. «День был тёплый, поэтому после обеда мы отправились в сад выпить чаю в тени яблонь, — пишет Стиюкли в своих “Воспоминаниях о жизни сэра Исаака Ньютона”, опубликованных в 1752 году. — Он рассказал мне, что идея гравитации пришла ему в голову как раз в подобных обстоятельствах. Её вызвало к жизни упавшее яблоко, которое он увидел, когда размышлял в саду. “Почему яблоко всегда перпендикулярно падает на землю?” — задумался он...».^[3]

Однако Ньютон ни разу не упоминал о падающих яблоках в течение полувека после открытия закона всемирного тяготения. Произошло ли это на самом деле? Или Ньютон знал, что дни его научного творчества прошли, и заботился о своём наследии, а потому понял, что эта история запомнится потомкам и обеспечит ему бессмертие? В день смерти Стива Джобса, основателя компании Apple, кто-то написал в «Твиттере»: «Мир изменили три яблока: яблоко Адама, яблоко Ньютона и яблоко Стива».^[4]

Неизвестно, что заставило Ньютона провести эту важнейшую связь между землёй и небом, силой притяжения, удерживающей Луну возле Земли, и силой притяжения, заставляющей яблоко упасть. Всё, что мы знаем, — это что закон всемирного тяготения Ньютона родился в ужасное время, которое ярко описывает Даниэль Дефо в «Дневнике чумного года».^[5]

В августе 1665 года в Лондоне свирепствовала бубонная чума. Страх заражения был так велик, что в Кембридже, в 90 километрах к северо-востоку, закрыли университет. Никому не известному 22-летнему студенту Ньютону пришлось то пешком, то на повозках возвращаться на семейную ферму в Вулсторпе. В течение полутора лет он жил там без какого-либо контакта с окружающим миром и за это время не просто открыл закон всемирного тяготения, а изменил лицо современной науки.

Особенный

Исаак Ньютон родился на Рождество в 1643 году. Несмотря на такую символичную дату, «особенный» младенец был таким крошечным, что мог поместиться в кружку из-под кварты^[6] пива, и таким слабым, что родные предсказывали ему смерть через несколько дней.^[7]

Отец Ньютона умер за три месяца до его рождения, и мать осталась практически без средств к существованию. Когда мальчику исполнилось три года, она приняла предложение руки и сердца от богатого священника почти в два раза старше её. Тому требовалась жена, но не пасынок, поэтому

мать Ньютона переехала в приход к новому мужу в соседнюю деревню, оставив сына на попечение бабки с дедом. Ньютон ненавидел эту замену родителей и позднее в своём дневнике признавался, как «угрожал матушке и отцу Смитам сжечь их вместе с их домом».

Через восемь лет муж матери Ньютона умер, и она вернулась в усадьбу Вулсторп вместе со сводными для своего сына братом и двумя сёстрами. Но к тому моменту слепая ярость от того, что мать его покинула, уже ярко разгорелась в душе Ньютона и так и не погасла до конца жизни.

Так как Ньютон был наследником семейной фермы, ему запрещали играть с «простыми» детьми крестьян. Исааку приходилось занимать себя самому, и он был одиноким ребёнком, затерянным в дебрях собственного воображения, постоянно что-то строящим и исследующим мир вокруг. Он создавал модели мостов и мельниц, вырезал солнечные часы и следил за движением их тени — час за часом, день за днём, с зимы до осени.

Семья оценила исключительные способности Ньютона и, когда ему было 12, нашла деньги, чтобы отправить его в королевскую школу в Грантеме. Расстояние между городом и фермой составляло тринадцать километров, и мальчик не смог бы проходить столько каждый день, так что его определили на постой к местному аптекарю. Теперь Ньютон был отрезан и от собственной семьи и чувствовал себя в ещё большей изоляции. Однако его взял под крыло директор школы, который особо интересовался математикой. Распознав в Ньютоне исключительный талант, он научил мальчика всему, что знал сам.

В 1659 году, когда Ньютону исполнилось 16, мать потребовала, чтобы он вернулся в Вулсторп и стал хозяином усадьбы со всеми её лесами, ручьями, ячменными полями и пасущимися овцами. Но Ньютон проводил своё время на семейной ферме за чтением книг и сбором трав.^[8] Пока его овцы портили посевы соседей, он строил водяные мельницы. Позволив своему стаду свиней зайти на чужую землю, он даже не удосужился починить заграждение, за что получил штрафы от суда.^[9] Ко всеобщему (включая и самого Ньютона) счастью, на следующий год он вернулся в грантемскую школу.

Ещё одним человеком, признававшим за Ньютоном необычные способности, был его дядя по материнской линии. Он служил приходским священником, получившим духовное образование в Кембридже, и в 1661 году помог своему 18-летнему племяннику занять место в университете. В то время Кембридж был всего лишь грязной деревенькой. Ньютон оплачивал учёбу в качестве «субстипендиата», прислуживая более богатым

студентам, выполняя их поручения и доедая их объедки. В январе 1665 года начальный этап обучения закончился и ему присвоили степень бакалавра искусств.

Нам мало известно о том, каким Ньютон был в студенчестве. Судя по всему, он ни в чём себя не проявлял, как впоследствии и его последователь Альберт Эйнштейн. Тем не менее он упорно изучал математику и другие науки и поглощал труды греческих философов. Самое важное, однако, заключалось в критичности его подхода к чтению. Ньютон писал в своём дневнике: «Платон мне друг и Аристотель мой друг тоже, но мой лучший друг — истина».

Одинокое плавание по волнам мысли

Когда в 1665 году Ньютон снова вернулся в Вулсторп, стояло лето и воздух был наполнен жужжанием насекомых и пением птиц. Картина была столь идиллической, что трудно было поверить, будто всего в 160 километрах отсюда, в Лондоне, люди падали замертво на улицах. Они дрожали в ознобе и лихорадке, страдали от судорог и болей в конечностях, кто-то хватал ртом воздух, кто-то кашлял кровью. В подмышках и паху у них надувались бубоны — это чумные бактерии размножались в их лимфатических узлах. Вспышка чумы унесла тогда более 100 000 душ — четверть всего населения Лондона. Их тела увозили на повозках и без всяких церемоний сбрасывали в общие могилы.^[10]

Усадьба Вулсторп представляла собой несколько обветшалое двухэтажное здание из серого известняка, примостившееся с краю долины реки Уитэм и окружённое яблоневыми деревьями и овечьими пастбищами. Здесь, сидя за своим рабочим столом, Ньютон отгораживался от ужасов, происходящих в большом мире. Возможно, он не был способен к сопереживанию, и потому эта задача давалась ему легко. А возможно, он просто понимал, что ничего не может сделать. Зачем беспокоиться о том, что не можешь изменить? К чему переживать о вещах, которые находятся в руках Всевышнего?

В душе Ньютон был прагматиком, а прагматичный человек даже самое страшное время может использовать как передышку, как возможность заглянуть в мысли Творца. «Мой лучший друг — истина», — писал Ньютон. Её поисками он и занялся в Вулсторпе, пока ужасы чумы терзали Англию. Путешествуя в одиночестве по волнам мысли, он станет самым видным математиком в мире.^[11] Он откроет законы оптики и цвета,

математику «счисления» и свой знаменитый бином. Но самое главное — он сформулирует универсальный закон притяжения.

Срок для этого подошёл, потому что к тому моменту уже существовала реалистичная модель, показывающая положение Земли в космосе. Однако так было не всегда.

Всё дело в массе

Когда-то люди считали Землю центром Вселенной. Легко понять, как они допустили такую ошибку. В конце концов, и Солнце, и Луна, и звёзды довольно очевидным образом вращаются вокруг Земли.

Если бы не несколько «но».

Пять планет, видимых невооружённым глазом, — Меркурий, Венера, Марс, Юпитер и Сатурн — явно выделялись для наших предков на небесном своде тем, что медленно переползали с места на место на фоне других, неподвижных звёзд.^[12] Что самое интересное, они делали это с разной скоростью. Если следить за какой-нибудь из них каждую ночь, неделю за неделей, однажды она изменит направление движения, а потом снова пойдёт назад, вычерчивая в небе безумную петлю. Как это возможно, если все планеты движутся вокруг Земли?

Никак. *Потому что они этого не делают.*

Для объяснения аномального движения планет (кстати, само слово «планета» происходит от греческого слова, означающего «странник») была придумана хитроумная схема. Греки верили, что небеса, в отличие от земли, — это царство истинного совершенства. А совершенной фигурой они считали круг. Возможно, пока планета обходит вокруг Земли, она также совершает оборот меньшим радиусом вокруг собственного центра? Так родился эпицикл, или круг внутри круга. Вращение по меньшему кругу объясняет, почему иногда планеты начинают двигаться в обратном направлении по своей орбите.

На самом деле это решение загадки планетарного движения — один большой обман. Если взять достаточно много кругов внутри кругов внутри кругов, можно симитировать любое движение. Кроме того, подобное решение слишком сложное и громоздкое, а главные качества современного научного объяснения — это простота и лаконичность.

Более эффективное объяснение необычному движению планет предложил в 1543 году польский астроном Николай Коперник. Что если центр всего не Земля, а Солнце и все планеты, включая нашу собственную,

движутся по орбитам вокруг него? В этом случае, как писал Коперник в своём труде «О вращении небесных сфер», движение планет становится понятным. По мере обращения вокруг Солнца Земля часто догоняет и перегоняет более медленные планеты, например Марс. С точки зрения наблюдателя на Земле, такой обгон выглядит как движение Марса назад на фоне неподвижных звёзд.^[13]

Идеи Коперника оставили свой след. Теперь в космосе оказалось целых два небесных тела, вокруг которых вращались другие: Солнце с планетами, включая Землю, и сама Земля со своим спутником Луной. Ситуация ещё больше усложнилась, когда итальянский учёный Галилей смог рассмотреть Вселенную поближе с помощью своего астрономического телескопа. Он не только увидел звёзды, незаметные невооружённому глазу, горы на Луне и фазы Венеры, но и в 1610 году открыл четыре луны Юпитера. Получается, в Солнечной системе не два центра, а как минимум три!

Древние представления разваливались на глазах. Согласно верованиям древних греков, самым важным для понимания нашего мира и Вселенной в целом является местоположение. Каждая из четырёх стихий — земля, огонь, вода и воздух — имеет своё место и стремится к нему. Все они связаны с Землёй, а сама стихия земли, что неудивительно, направлена так, чтобы быть как можно ближе к центру нашей планеты. В новом же представлении о мире местоположение не играло такой роли. Иначе как во Вселенной могли появиться целых три точки, вокруг которых вращаются другие небесные тела?

Наблюдения за Солнечной системой преподали учёным урок: тела, имеющие массу, движутся по орбитам вокруг других таких же тел. Важно не местоположение.^[14] Ключ ко всему — это масса.

Клуб одиноких сердец Матери-Природы

Вопрос заключался вот в чём: как одна масса подчиняет себе другую? Ключом к разгадке стал магнетизм. Кусочки магнитного железняка обладают природным магнетизмом, кажется, будто какая-то неведомая сила притягивает некоторые из них друг к другу, преодолевая расстояние между ними. Отец греческой философии Фалес Милетский писал об этих необычных свойствах железняка ещё в VI веке до нашей эры.

В 1600 году английский учёный Уильям Гилберт предположил, что именно магнитные силы удерживают вместе все объекты в Солнечной

системе. Он экспериментально доказал, что по мере увеличения массы магнитного железняка росла и сила притяжения, с которым он воздействовал на кусок железа. Гилберт также отметил, что притяжение было взаимным, то есть и сам кусок железа притягивал магнитный железняк с той же силой.

Открытия Гилберта захватили некоторых учёных, среди которых был и Роберт Гук — будущий главный соперник Ньютона. Однако известно, что Солнце горячее, а если нагреть куски железняка, они утрачивают свои магнитные свойства. Поэтому Гук рассматривал магнетизм лишь как модель той силы, которая движет телами в Солнечной системе. Как и магнитное взаимодействие, она направлена от одного тела, имеющего массу, через пространство к другому такому же объекту. Как и магнитное взаимодействие, она растёт с увеличением массы. И, как и магнитное взаимодействие, она направлена в обе стороны.

Гравитация действительно притягивает массы друг к другу, пытаясь прервать их бесконечную изоляцию. Гравитация — это сила клуба одиноких сердец Матери-Природы.

Итак, вот как обстояли дела в чумном 1666 году, когда Ньютон, сидя за своим рабочим столом в усадьбе Вулсторп, начал размышлять о силе, возникающей между объектами, имеющими массу. В то время он знал о гравитации не больше, чем о магнитных свойствах железняка, но незнание его не смущало. Как говорил великий физик XX века Нильс Бор, «задача физики — не понять, какова природа, но выяснить, что мы можем сказать о природе».

Ньютон инстинктивно понимал это. Пускай он не знал, что такое гравитация, но хотя бы мог задаться вопросом: как она себя ведёт?

Читая книгу природы (законы Кеплера)

Мы обладаем ключевыми знаниями о поведении гравитации благодаря открытиям немецкого математика Иоганна Кеплера, которые он сделал в период с 1609 по 1619 год на основании работ датского астронома Тихо Браге (известного, помимо прочего, тем, что ему отрубили нос на дуэли и он до конца жизни носил на лице искусственный медный нос). В своей лаборатории на острове Вен, который сейчас принадлежит Швеции, Браге провёл множество наблюдений невооружённым глазом за планетами. Просидев много дней и ночей над записями Браге, Кеплер вывел три закона, управляющих поведением небесных тел.

Первый закон Кеплера гласит, что каждая планета движется по эллиптической орбите, в одном из фокусов которой находится Солнце. Эллипс — это особая кривая, а не просто овал. Для того чтобы его нарисовать, можно воткнуть в лист бумаги две кнопки, намотать на них леску, затем натянуть эту леску карандашом и провести вдоль неё его остриём. Кнопки при этом будут фокусами эллипса. С математической точки зрения где бы на эллипсе ни находился объект, сумма расстояний от него до фокусов будет одинаковой.

Заявление Кеплера о том, что орбиты планет имеют эллипсоидную форму, означало разрыв с прошлым. Вера греков в совершенство кругов заставляла их искать концентрические формы во всём космосе. Но природа — это книга, которую мы читаем, а не пишем. Признавая это, Кеплер и его последователи проявляли большее смирение, чем их античные предшественники, — они изучали природу, чтобы понять, *что она говорит им*. В частности, Кеплеру (через скрупулёзные наблюдения Браге) она сказала о том, что планеты движутся вокруг Солнца не по круглым, а по яйцеобразным орбитам.

Второй закон Кеплера гласит, что планеты обращаются вокруг Солнца не с постоянной скоростью, они движутся быстрее вблизи него и медленнее — в отдалении. На самом деле закон выражает эту идею чуть точнее. Согласно ему, воображаемая линия, соединяющая планету и Солнце, всегда очерчивает одну и ту же площадь за одно и то же время. Возьмём, к примеру, промежуток времени десять дней. Две точки на орбите планеты, находящиеся на расстоянии десяти дней друг от друга, можно соединить с Солнцем, и мы получим треугольник. Площадь этого треугольника будет оставаться неизменной, вне зависимости от того, подошла планета близко к Солнцу или находится далеко от него. Невозможно не восхититься находчивостью Кеплера, который вывел такой странный закон из наблюдений Браге.

В своём вусторпском заточении Ньютон много думал о втором законе Кеплера. Склонность к долгим размышлениям была секретом его гениальности. Да, он умел строить сложные механизмы и проводить запутанные эксперименты и делал это куда лучше многих. Но что действительно выделяло его на фоне современников, так это невероятная, феноменальная концентрация. В этом был его ключ к успеху.

Ньютон не заботился о своём теле, не предавался развлечениям, лишь безудержно работал: порой он писал по 18–19 часов в день.^[15] Шестерёнки в его голове вращались без перерыва, и каждый час, не проведённый за своими изысканиями, он считал потраченным впустую. В то время как

другие не могли удержать абстрактную задачу в мозгу даже на пару минут, Ньютон был способен фокусироваться на ней часами, неделями, сколь угодно долго, пока не сумеет пробраться внутрь и найти решение. «Я постоянно держу предмет перед собой в своём сознании и жду, пока вместо первых лучей рассвета не займётся ясный день», — писал Ньютон.^[16]

Ньютон препарировал второй закон Кеплера своим острым, как лазерный луч, умом и в конце концов увидел, что тот пытался сказать ему о силе притяжения, испытываемой планетой. Самым важным было не значение этой силы и не её изменение по мере удаления от Солнца. Ньютон понял, что площадь треугольника может оставаться неизменной в любой момент времени лишь при одном условии: если сила, которая воздействует на планету, всегда направлена к Солнцу.^[17]

Третий закон движения планет Кеплера несколько отличается от первых двух. Вместо того чтобы описывать отдельные орбиты планет, он говорит об их взаимодействии друг с другом. Согласно третьему закону, чем дальше планета находится от Солнца, тем медленнее она движется и тем больше времени у неё занимает полное прохождение орбиты. Это ясно показывает, что сила гравитации, испытываемая планетой, становится слабее по мере удаления от Солнца. Но в этом законе есть и ещё кое-что. Кеплер был гением математики, и на самом деле его третий и последний закон утверждает, что квадраты периодов обращения планет соотносятся как кубы расстояний от них до Солнца. Например, если одна планета находится в четыре (2^2) раза дальше от Солнца, чем другая, прохождение орбиты займёт у неё в восемь (2^3) раз больше времени.

Третий закон Кеплера звучит ещё более заумно, чем второй, но нам с вами незачем вдаваться в детали. Главное здесь — точное математическое соотношение. А это значит, что и сила, которую описывает закон и которая действует между Солнцем и планетами, тоже должна объясняться математически. Это уже само по себе было откровением. Оказалось, что природа подчиняется математике, или, как это видел сам Кеплер, Бог — математик.^[18] Сидя за своим рабочим столом в Вулсторпе, Ньютон задавал себе вопрос: в чём состоит математический закон гравитации?

Он имел уникальную возможность ответить на этот вопрос, потому что сам сформулировал определение силы, превратив её из чего-то эфемерного в точнейшее научное понятие. Ньютон сумел сделать это благодаря трудам Галилея, который умер за год до его рождения.

Объясняя книгу природы (законы Ньютона)

Тела, падающие под воздействием силы тяжести, движутся так быстро, что Галилею сложно было измерить время такого падения, пользуясь доступными ему на тот момент инструментами. Поэтому он придумал хитрый способ уменьшить силу гравитации и притормозить стремительное движение падающих объектов. Галилей ставил на стол доску под небольшим углом и спускал по ней шарики. Чем меньше был угол наклона, тем больше «размывалась» сила притяжения и тем медленнее двигался шар. Но самое важное наблюдение Галилея в этом эксперименте состояло в том, что, когда шарик достигал конца уклона, он продолжал катиться *с постоянной скоростью*, пока не падал с края стола.

На ровной столешнице без уклона сила притяжения «размыта» до нуля и не действует на шарик. Галилей заключил, что *в отсутствие силы тело движется с постоянной скоростью*.

Это заключение кажется совсем не очевидным. В повседневной жизни предметы обычно не движутся с неизменной скоростью. Если пнуть камень, он прокатится некоторое время по земле и снова станет неподвижным. Ньютон объяснил это тем, что на камень в данном случае действует ещё и тормозящая сила — сила трения с землёй. В её отсутствие — например, если бы мы пнули камень, стоя на идеально ровном льду, — он продолжил бы двигаться.

Тот факт, что движение по инерции является естественным для любого тела, даёт нам ответ на загадку, которую люди не могли разгадать с тех пор, как поняли, что не звёзды движутся вокруг Земли, а вращается сама планета. Мы знаем размеры Земли и то, что она делает полный оборот за 24 часа. Значит, на экваторе скорость на поверхности Земли составляет 1670 километров в час! Почему же люди, которые там живут, этого не замечают? Почему, если бросить мяч на землю на экваторе, планета просто не проворачивается под ним и он не падает куда восточнее, чем его бросали? Ответ заключается в том, что и мы с вами, и мяч, и воздух вокруг нас — это порождения движущегося мира и мы движемся вместе с вращением Земли, потому что именно так взаимодействуют подвижные тела.

На самом деле даже сегодня мы не знаем, почему движение по инерции — это естественное состояние тела. Но Ньютон, опираясь на необычное заключение Галилея, выразил его идею в первом из трёх своих законов движения.

Первый закон Ньютона гласит, что любое тело либо находится в состоянии покоя, либо движется вперёд по прямой с постоянной скоростью, если на него не оказывает воздействия внешняя сила (этот закон не следует путать с законом кошатей инерции, который звучит так: «Кот,

находящийся в состоянии покоя, стремится остаться в состоянии покоя, если на него не воздействует внешняя сила, как то: звук открываемой банки с кормом или пробегающая мышь»^[19]). Согласно Ньютону, сила — это нечто, что сталкивает тело с предусмотренного природой пути, заставляя его менять скорость, или направление, или и то и другое. Эту идею Ньютон выразил в своём втором законе, который утверждает, что тело реагирует на приложение силы ускорением (изменением скорости) по направлению приложения данной силы и что значение такого ускорения обратно пропорционально массе тела. Иными словами, тело небольшой массы ускорится под влиянием заданной силы сильнее, чем более массивное.

Точная формулировка второго закона Ньютона такова: «Производная импульса тела равна значению прилагаемой к нему силы». Ньютон определял импульс как произведение массы тела и скорости его движения в определённом направлении. Производя такие расчёты, он закладывал основы динамики — математической теории движения.

Тот факт, что движение по прямой с постоянной скоростью является естественным для тела, открыл Ньютону всё, что ему требовалось знать о движении планеты вокруг Солнца. Во-первых, для того, чтобы толкать её вперёд по орбите, не нужна сила. Это удачное обстоятельство, ведь, как уже упоминалось ранее, Ньютон толковал второй закон Кеплера по-своему: сила притяжения направлена только в сторону Солнца и ни один из её компонентов не обуславливает движение планеты. Планета движется лишь потому, что для объектов, обладающих массой, естественным состоянием является движение.^[20]

Вдумайтесь, какое это было невероятное открытие. Практически каждый, кто когда-либо размышлял над вопросом о движении планет, полагал, что существует какая-то сила, толкающая их вперёд по своим орбитам. Кто-то считал, что невидимые ангелы летят рядом с планетами и направляют их своим дыханием или биением крыльев. Кеплер представлял себе магнитные «спицы», исходящие от Солнца и заставляющие планеты поворачиваться вместе с ним. Французский математик Рене Декарт предпочитал идею солнечного водоворота, в котором планеты вращаются, как мусор, выброшенный в воду. Но Ньютон выбросил все эти идеи на свалку истории. Он понял, что второй закон Кеплера доказывает: никакая сила не заставляет планеты вращаться по своим орбитам.

Тот факт, что для тел, обладающих массой, естественным является движение по прямой, подсказал Ньютону, что именно делает сила тяготения, удерживающая планету на орбите вокруг Солнца. Она

постоянно искривляет эту прямую, превращая её в круг.

Разумеется, исходя из первого закона Кеплера, Ньютон понимал, что траектории планет — это не круги, а эллипсы. Но эллипс — более сложная фигура, а эллиптические орбиты планет очень близки по форме к окружностям, поэтому Ньютон решился на такое обобщение.

Затем он задался вопросом: какая сила требуется, чтобы заставить тело двигаться по кругу, то есть чтобы постоянно изгибать естественный прямой путь своего движения? Другие учёные, включая Гука, уже знали ответ, но Ньютону об этом ничего не было известно.

Итак, Ньютон уселся за стол с листом пергаментной бумаги и нарисовал окружность радиусом r с лежащей на ней точкой, имеющей массу m . Он предположил, что эта масса движется со скоростью v . Оставалось лишь применить немного геометрии, чтобы рассчитать силу, необходимую для того, чтобы постоянно сбивать массу с её прямого пути. Она равняется произведению массы на квадрат скорости, делённому на радиус, или mv^2/r .

На самом деле эта формула «центростремительной силы» основывается на здравом смысле. Предположим, вы привязали камень к концу верёвки и вращаете им над головой. Здравый смысл подсказывает, что чем тяжелее будет камень, тем сильнее вам придётся натягивать верёвку (то есть тем большую силу нужно будет приложить), чтобы камень не слетел со своей круговой траектории. Чем быстрее вы вращаете камень, тем выше будет значение необходимой сдерживающей силы. А чем короче верёвка, тем больше должно быть натяжение.^[21] Гравитация — это невидимая верёвка, которая удерживает планеты, не давая им разлететься по космосу.

Затем Ньютон задался ещё одним важным вопросом: если центростремительную силу, действующую на планеты, обеспечивает гравитация, как именно она должна изменяться по мере удаления от Солнца, чтобы обеспечить выполнение третьего закона Кеплера? Он понял, что сила уменьшается пропорционально квадрату расстояния. То есть если одна планета находится в два раза дальше от Солнца, чем другая, то сила, с которой на неё воздействует Солнце, окажется в четыре раза меньше. Если расстояние больше в три раза, то сила будет в девять раз меньше и так далее.^[22]

На небесах существовало ещё одно место, где Ньютон мог бы проверить свой закон обратных квадратов. Астрономы наблюдали за четырьмя лунами, вращающимися вокруг Юпитера (Ио, Европой,

Ганимедом и Каллисто), с момента их обнаружения Галилеем в Падуге в 1610 году. Сравнительные расстояния между этими лунами и Юпитером уже были измерены, равно как и время, за которое каждая из них делает полный оборот вокруг планеты. Астрономы выяснили, что луны движутся по орбитам вокруг Юпитера точно так же, как планеты вокруг Солнца, то есть их периоды обращения различаются в зависимости от расстояния до Юпитера, как и предсказывает третий закон Кеплера. Итак, другие учёные уже сделали за Ньютона всю тяжёлую работу. Третий закон Кеплера — это неизбежное следствие того, что сила гравитации уменьшается с расстоянием в соответствии с принципом обратных квадратов.^[23]

Падающая Луна

Третий закон Кеплера, действующий в высоких небесных сферах, был далёк от повседневной жизни в Вулсторпе с её стадами овец на пастбищах, возами сена, подсакивающими на дорожных выбоинах, и петушиным пением холодными серыми утрами. Однако в мозгу Ньютона рождалась поистине революционная мысль, мысль, от которой у него замирало сердце. Что, если сила притяжения, действующая в космосе, точно так же работает и на Земле? До него ни один учёный ещё не высказывал подобного предположения, но что, если существует единый закон, действующий и в небесах, и в низменном земном мире? Что, если гравитация — это *универсальная сила*, влиянию которой подвержены все частицы материи без исключения?

Ньютон был прагматиком и понимал, что его озарение не будет ничего стоить, пока он сам не придаст ему ценность — то есть пока он не сможет использовать его для расчётов.

Как я уже упоминал, история с яблоком Ньютона, скорее всего, просто выдумка. Но суть её состоит в том, что Ньютон понял: яблоко притягивается к Земле та же самая сила, которая удерживает Луну на её орбите.

Подобная связь между яблоком и Луной вовсе не очевидна. По крайней мере Луна на Землю пока не падает. Лишь гений Ньютона сумел увидеть истину за обманчивыми внешними проявлениями.

Представьте себе пушку, из которой выстрелили ядром. Некоторое время оно будет лететь горизонтально, а затем упадёт. Но давайте возьмём пушку побольше, которая придаст ядру большее ускорение. Теперь оно пролетит дольше. А теперь вообразите себе огромную пушку, при выстреле из которой ядро будет двигаться со скоростью 28 080 километров в час. Для

такого ядра большую роль будет играть искривление земной поверхности. Как бы быстро ядро ни падало на землю, земля будет уходить из-под него и оно так и останется в постоянном падении, ни разу не коснувшись поверхности Земли. Такое ядро будет двигаться по орбите вокруг нашей планеты, *вечно падая по кругу*. Как писал Дуглас Адамс, «секрет полёта — в том, чтобы научиться бросать себя на землю и промахиваться».^[24]

Луна постоянно падает по кругу. То есть и Луна, и яблоко всё-таки делают *одно и то же*. Это не совсем очевидно, потому что яблоко не имеет скорости, направленной параллельно Земле, а Луна имеет и, словно ядро из гигантской пушки, всё время движется вокруг нашей планеты.

Дети часто задают взрослым вопросы: «Почему Луна не падает? Почему не падают спутники? Что держит их в небе?». Правильный ответ — ничего. На самом деле они падают постоянно! Многие люди верят, что космонавты в космосе ничего не весят, потому что там нет гравитации. Однако даже на Международной космической станции гравитация составляет около 89% земной. Космонавты на её борту оказываются в невесомости не потому, что гравитация больше не влияет на них, а потому, что они находятся в непрерывном падении.

Всё, что оставалось сделать Ньютону, чтобы доказать, что гравитация — это универсальная сила, действующая на объекты, обладающие массой, как на Земле, так и в небесах, — это сравнить воздействие притяжения Земли на яблоко и Луну. Если он был прав, то разница между таким воздействием должна была объясняться законом обратных квадратов, то есть удалённостью от планеты.

Итак, Ньютон сосредоточился на яблоке. Учёные вроде Галилея уже провели необходимые измерения до него, и он знал, что в первую секунду яблоко падает на 490 сантиметров. Нужно было найти ответ на следующий вопрос: какое расстояние за одну секунду падения проходит Луна?

Ньютон знал, что расстояние от Луны до центра Земли составляет 384 400 километров.^[25] Это позволило ему рассчитать длину окружности лунной орбиты. Так как Луна полностью проходит её за 27,3 дня, Ньютон смог вычислить и скорость Луны.

Для Луны естественным движением является перемещение с данной скоростью по прямой линии. Однако эта линия в случае Луны постоянно изогнута в сторону Земли под влиянием силы притяжения. С помощью геометрии можно рассчитать, какое расстояние Луна проходит за одну секунду отклонения со своего прямого пути в сторону Земли. У Ньютона получился результат 0,136 сантиметра. Теперь он знал, что сила

притяжения Земли на расстоянии до Луны составляет $0,136/490 = \sim 1/3600$ земной (символ \sim означает «примерно»).

Поверхность Земли находится на расстоянии 6370 километров от её центра, а Луна, как уже говорилось выше, — на расстоянии 384 400 километров.^[26] Иными словами, Луна отстоит от центра Земли примерно в 60 раз дальше, чем поверхность нашей планеты. Обратите внимание, что 60^2 равно 3600, то есть тому числу, на которое гравитация на расстоянии лунной орбиты меньше гравитации на Земле. Ньютон доказал, что и на земные яблоки, и на небесные тела влияет одна и та же сила, которая уменьшается с расстоянием. Гравитация оказалась универсальным явлением.

Здесь стоит сделать паузу, чтобы осознать, что это значит. Сила притяжения воздействует на каждый клочок материи во Вселенной. Гравитация возникает между вами и проходящим мимо человеком, между вами и мобильным телефоном у вас в кармане, между мочкой вашего левого уха и большим пальцем вашей правой ноги. В таких повседневных ситуациях сила гравитации слишком мала, чтобы произвести видимый эффект. Но чем больше масса, тем она становится сильнее. Она накапливается. Вот почему гравитация Земли массой 5,98 миллиона миллионов миллионов тонн становится заметной и притягивает ваши стопы к полу.

Поскольку гравитация — это универсальная сила, она стремится сжать массивные частицы в максимально компактную форму, то есть в сферу. Это получается только в том случае, если материя становится тягучей, как патока, а для этого материальное тело должно быть очень сильно сжато своей собственной силой тяготения. Так как лёд проще сжать, чем камень, пороговая масса ледяных тел отличается от пороговой массы каменных. В Солнечной системе все ледяные тела более 600 километров в диаметре являются круглыми, а меньшие имеют форму картофелин. Для каменных тел пороговый диаметр равен примерно 400 километрам.

Итак, форма небесного тела определяется силой гравитации, которая сжимает материю, а также электромагнитной силой, делающей материю твёрдой, чтобы та могла противостоять гравитации. Значение электромагнитной силы, действующей между протоном и электроном в атоме водорода, самого лёгкого из всех элементов, примерно в 10^{40} (10 с 40 нулями) раз больше, чем значение силы притяжения между ними. Поэтому для того, чтобы сила притяжения перевесила, в одном месте должно собраться очень много атомов. Вот почему гравитация побеждает только

для тел диаметром 400–600 километров.

Здесь есть ещё один тонкий момент. Сила притяжения действительно увеличивается по мере наращивания массы материи. Именно масса нашей планеты прижимает ваши ступни к земле. Но гравитация — это не только сила, с которой объекты побольше воздействуют на объекты поменьше. Это взаимная сила, с которой тела, обладающие массой, влияют друг на друга. Земля воздействует на наши тела с силой тяготения, и наши тела отвечают ей тем же. Но, несмотря на это, мы знаем, что можем упасть в направлении Земли, а вот Земля почему-то не падает в направлении нас. Здесь в дело вступает инерция — присущая всем телам, обладающим массой, реакция сопротивления любым изменениям в своём движении.

Тела с большей массой сильнее сопротивляются попыткам сдвинуть их с места (на самом деле в этом и заключается определение массы). Земля во много раз массивнее человека, поэтому и сдвинуть её нелегко. Британский комик Энди Гамильтон был прав, когда шутил: «Так вот почему меня всё время тянет к крупным женщинам, а их ко мне — нет!». ^[27] Вообще, крупных женщин *тоже* тянет к Гамильтону, но из-за того, что их масса больше, его гравитационное влияние на них меньше. Земля *действительно* начинает падать навстречу вам или яблоку, только это движение практически незаметно. Философ Э. Грейлинг говорил: «Сидя в своём саду, Ньютон увидел то, чего никто не замечал до него: как яблоко притягивает к себе весь мир, а весь мир — яблоко, и что это происходит благодаря силе взаимодействия, охватывающей в своём бесконечном объёме все тела, вплоть до звёзд и планет». ^[28]

«Миллионы людей видели, как падают яблоки, — говорил американский финансист Бернارد Барух, — но лишь Ньютон задался вопросом почему». ^[29]

Вера в простоту

Для того чтобы понять, что Луна падает и в то же время остаётся для наших глаз на месте и что при этом на неё действует та же сила, которая заставляет яблоко упасть с дерева, требовалось огромное воображение. В те времена небо считалось обиталищем ангелов и самого Бога, которые, по представлениям греков, состоят из эфира, пятого элемента, полностью отличного от четырёх земных стихий — земли, огня, воздуха и воды. Но Ньютон не делал никаких различий между земным и небесным миром. В мире, где всё ещё преобладала религиозная догма, он оказался достаточно

смелым, чтобы спустить небо на землю. Поведение тел на Земле управляется теми же законами, что и во всей Вселенной. Существуют универсальные законы, то есть такие, которые действуют *в любом месте и в любое время*. И Ньютон, человек, живший на заре научной мысли, чей отец не умел писать и вместо подписи ставил крестик, проник своим умом в самое сердце природы и увидел один из таких законов.

Это было первое из великих научных объединений. Позже Чарльз Дарвин объединит человечество со всем животным царством, Джеймс Клерк Максвелл соединит электричество, магнетизм и свет, а Альберт Эйнштейн скажет, что пространство, время и гравитация — это одно целое. Современные физики мечтают о всеобщем объединении (как бы они его ни понимали) гравитации и квантовой теории, описывающей мир атомов и субатомных частиц.

Но закон Ньютона был не просто универсальным, он был простым. «Истина всегда в простоте, а не в приумножении и беспорядке вещей», — писал Ньютон.^[30] Если бы закон гравитации не был так прост, житель XVII века, пускай даже и обладающий ньютоновской гениальностью, никогда бы его не открыл. Только подумайте, как удачно всё сложилось. Вселенная на фундаментальном уровне вполне могла бы управляться сложными законами, совершенно недоступными небольшому мозгу прямоходящей обезьяны, чьи предки ещё недавно жили на деревьях в Восточной Африке. Но это не так. Законы Вселенной просты.

Следуя примеру Ньютона, другие учёные тоже начали искать и находить простые законы. Вера в то, что они существуют, — это непризнанная религия физики, путеводная звезда, освещающая физикам путь во мгле. Никто не знает, почему фундаментальные законы Вселенной так просты и доступны для математики. Но 350 лет назад Ньютон первым показал человечеству, что это так.^[31]

Универсальный закон Ньютона описывает гравитационную силу, действующую между частицами материи. На самом деле, как первым из учёных понял Ньютон, частицы и силы — это всё, из чего состоит Вселенная. «Силы гравитации, магнетизма и электричества распространяются на существенные расстояния, и мы наблюдаем их действие, — писал Ньютон. — Но могут существовать и другие силы, действующие на малых расстояниях и потому избегающие нашего взгляда... Может существовать сила, которая при близком контакте окажется очень мощной для проведения химических операций, но при этом распространяется на малые расстояния от частиц».^[32] Сегодня мы знаем,

что за «химические операции», как называл их Ньютон, отвечает электромагнитная сила и что существует ещё две фундаментальные силы природы, которые «избегают нашего взгляда», но действуют очень активно на небольших расстояниях.

Задача физиков, как точно подметил Ньютон, имеет две стороны. Во-первых, это поиск фундаментальных природных сил, а во-вторых, познание того, как эти фундаментальные силы, действуя сообща, сумели собрать из базовых частиц невероятную Вселенную вокруг нас, наполненную галактиками, звёздами, планетами, лунами, деревьями и людьми.

Двадцать два года молчания

Ньютон открыл закон всемирного тяготения в 1666 году, но ещё 22 года не заявлял о нём миру. Никто не знает, почему так произошло, однако существует несколько версий. Одна из них состоит в том, что, когда Ньютон сравнил влияние силы притяжения Земли на расстоянии Луны и на Земле, он не смог получить подтверждения закона обратных квадратов. Возможно, его расчёт расстояния, произведённый в XVII веке, оказался неверен. К тому моменту, когда он это понял и провёл повторные вычисления, он уже переключился на другие научные задачи.

Ещё одна возможная причина, по которой Ньютон не опубликовал свой труд о всемирном тяготении сразу же: он полагал притяжение Земли таким, как будто вся её масса сконцентрирована в *центре*. Напомню, что при доказательстве закона обратных квадратов Ньютон сравнивал расстояние до Луны от центра Земли с расстоянием от яблока до *центра* Земли.

Суть теории Ньютона о всемирном тяготении состоит в том, что гравитация — это сила, действующая между всеми элементами материи. Это означает, что сила притяжения, с которой Земля воздействует на Луну, равна силе притяжения, с которой на Луну воздействует и Эверест, и каждая песчинка на каждом берегу каждого земного континента... По сути, гравитационное воздействие на Луну равно сумме гравитационных воздействий всех бесчисленных частиц материи, из которых состоит Земля.

Ньютон полагал, что значение этого притяжения всегда одинаково, как если бы вся материя на Земле была сконцентрирована в одной точке в её центре. Разумеется, он не мог это подтвердить, но, как говорил физик XX века Ричард Фейнман, можно знать больше, чем ты в состоянии доказать.

[\[33\]](#) С Ньютоном дело обстояло именно так.

Сила его интуиции была попросту пугающей. После нескольких часов, или дней, или даже недель концентрации он ясно видел перед собой решение задачи во всей его неизбежности, очевидности и правильности. Но знать правду недостаточно — нужно ещё и убедить в ней остальных. А это означало, что ему нужно было проводить много часов за столом с пером и листами бумаги и облекать свою интуицию в слова, шаг за шагом объясняя собственные идеи на языке обычных людей, то есть математики.

Одна вещь была для Ньютона совершенно очевидна. Мир имеет форму мяча, разделённого на две части, а между ними располагается невидимая нить, соединяющая Луну с центром Земли. Благодаря этой симметрии гравитационные силы, с которыми все частицы материи в одном полушарии воздействуют на все частицы материи в другом, компенсируются гравитационными силами, исходящими от всех частиц другого полушария. Они поглощают друг друга. Соответственно, сила притяжения, с которой Земля влияет на Луну, будет направлена вдоль линии, соединяющей Луну с центром нашей планеты. Этого достаточно для начала, но до утверждения о том, что притяжение будет действовать таким образом, как если бы вся масса Земли была сконцентрирована в одной точке, ещё далеко. В 1666 году Ньютон понимал, что это так, но не мог доказать.

Или, возможно, мог, но никто из живших в 1666 году просто не понял бы его доказательства.

В мае 1666 года Ньютон изобрёл интегральное исчисление, которое назвал обратным методом флюксий. Это элемент математической магии, с помощью которого он смог суммировать значения силы, исходящей от бесчисленного количества бесконечно маленьких масс (на самом деле не только масс, а вообще *чего угодно*). Данный метод позволял доказать, что сила притяжения Земли равна той силе, которая исходила бы от неё, если бы вся её масса была сконцентрирована в центре. Но так как Ньютон изобрёл это исчисление недавно и никому о нём не рассказал, то и доказательство, полученное с его помощью, мог бы понять только он сам.

[34] Вряд ли можно произвести хорошее впечатление на других, если сказать им: «У меня есть блестящее доказательство, но чтобы вы его поняли, для начала я должен обучить вас новой отрасли математики, которую я только что открыл».

Ньютон был сложным и противоречивым человеком, а потому против представления его закона всемирного тяготения в 1666 году могли иметься не только научные, но и психологические мотивы. Начну с того, что он был безумно скрытным. В грантемской школе над ним издевался местный

хулиган, вероятно понявший, что Ньютон не такой, как все. Сам Ньютон вспоминает, как однажды этот мальчик ударил его в живот, а будущий учёный в ответ схватил его за ухо, отволол к церкви и приложил носом о стену.^[35] Несмотря на победу в конфликте, после этого травмирующего опыта Ньютон начал бояться открытости — не только физической, но и интеллектуальной. Будучи крайне чувствительным человеком, Ньютон был не в состоянии рассматривать скептицизм своих коллег как часть научного процесса и считал его личными нападками глупцов на свои идеи. Он даже не пытался их защищать, так как был уверен в собственной правоте.

Ньютон был обидчивым, вспыльчивым и довольно мстительным человеком, и со многими своими коллегами он вёл долгую и изнурительную вражду. Когда читаешь высказывание Ньютона: «Мы строим слишком много стен и недостаточно мостов», хочется воскликнуть: «Кто бы говорил!». В его утверждении: «Я могу рассчитать движение небесных тел, но не безумие людей» — тоже чувствуется некоторая ирония.

«Такт — это искусство настоять на своём, не нажив себе врага», — говорил Ньютон. К сожалению, сам он так и не научился этому искусству. Он понимал, как нужно себя вести, но не умел действовать в соответствии с этим пониманием.

Разумеется, в каждом человеке есть свои противоречия. Живший в XX веке физик Георгий Гамов рассказывал о Ньютоне такую историю (которая, конечно же, может быть выдумкой).^[36] Ньютон очень любил свою кошку и, чтобы та в любой момент могла попасть в его кабинет, вырезал в двери дыру. Затем у кошки появились котята. Что же сделал Ньютон? Вырезал в двери несколько дыр поменьше, *по числу котят*. Он был величайшим гением всех времён, но не смог понять, что все котята могли бы проходить через одну большую дыру.

Одержимость Ньютона секретностью могла иметь и более глубокие мотивы. Несмотря на то что он родился раньше срока и был слабым ребёнком, учёный дожил до преклонного возраста и до самой старости сохранил идеальное зрение и все зубы, кроме одного.^[37] После смерти от него осталась коробка с бумагами, которые следовало опубликовать для потомков. Содержание этих документов было настолько скандальным, что священник, открывший коробку, чтобы бегло просмотреть бумаги, в ужасе захлопнул её.^[38] Помимо прочего, в документах содержались рассуждения Ньютона о религии. Он был глубоко верующим человеком и признавал только одного Бога. Он полностью отрицал догмат о Святой Троице — Отце, Сыне и Святом Духе. Изучив источники, он пришёл к выводу, что

идея «трёх богов в одном» была хитростью навязана церкви на Первом соборе в Никее, созванном в 325 году императором Константином I.

Ньютон знал, что одних его еретических унитаристских взглядов было бы достаточно, чтобы сделать его изгоем. Существовавшие в то время в Англии законы запрещали людям, разделявшим веру Ньютона, занимать важные государственные посты, а в некоторых случаях предусматривали и тюремное заключение. Ньютон был членом совета Тринити-колледжа (колледжа Святой Троицы) в Кембридже, и ни один человек даже на секунду не заподозрил, насколько он презирал основные принципы данного учебного заведения. Возможно, Ньютон был вынужден держать свою жизнь в секрете, потому что в мире, где доминировала строгая церковная догматика, от этого зависела его жизнь. Так или иначе, он был полностью пропитан секретностью.

Итак, Ньютон прогуливался по изъезженным дорогам вокруг Вулсторпа, бродил по его лесам и тропинкам, делал невероятные открытия об окружающем мире и держал их при себе. Он ни разу не выпрыгнул из ванной с криком «Эврика!», вместо этого оставаясь в молчании.

Разумеется, можно делать разные предположения относительно того, почему Ньютон не опубликовал данные о своём открытии сразу же, в 1666 году, но факт остаётся фактом — между открытием и его обнародованием прошло 20 лет.

Для дополнительного чтения

Ackroyd P. Newton. — London: Vintage, 2007.

Feynman R., Leighton R., Sands M. The Feynman Lectures in Physics, Volume I. — Boston: Addison-Wesley, 1989.

Gleick J. Isaac Newton. — London: HarperCollins, 2004.

Goodstein D., Goodstein J. Feynman's Lost Lecture: The Motion of the Planets around the Sun. — London: Jonathan Cape, 1996.

Gott R., Vanderbei R. Sizing up the Universe. — Washington DC: National Geographic, 2010.

Pask C. Magnificent Principia. — New York: Prometheus Books, 2013.

Shu F. The Physical Universe. — Mill Valley: University Science Books, 1982.

2. Последний из волшебников

Как Ньютон создал систему мира и нашёл ключ к пониманию Вселенной.

Ньютон был величайшим гением всех времён и самым удачливым из всех учёных, потому что устройство мира можно открыть лишь однажды.

Жозеф Луи Лагранж^[39]

В Ньютоне сочетались поразительные умственные способности и легковёрность и заблуждения, которые не могли бы родиться даже в мозгу кролика.

Джордж Бернард Шоу^[40]

Эдмунд Галлей был горячим поклонником Ньютона, можно даже сказать, его другом, хотя во всём, что касалось взаимоотношений с людьми, Ньютон проявлял себя практически аутистом.^[41] Галлей приехал к Ньютону, чтобы разрешить спор, который возник, когда он с двумя друзьями сидел в лондонском кафе. Одним из этих друзей был Роберт Гук, человек, придумавший термин «клетка» для обозначения крошечных элементов, из которых состоят ткани растений. Второго звали Кристофер Рен, и в тот момент он работал над строительством собора Святого Павла на месте церкви, разрушенной Великим пожаром 1666 года.

Галлей много думал над третьим законом Кеплера и, в частности, над тем, что квадраты периодов обращения планет соотносятся как кубы расстояний от них до Солнца. Как и Ньютон, он понял, что это правило соблюдается только в том случае, если на планеты распространяется закон обратных квадратов. Рен и Гук, попивая горячий чёрный кофе и дымя глиняными трубками, утверждали, что тоже вывели этот закон. Рен даже говорил, что вычислил его за много лет до Гука. Чтобы не ударить в грязь лицом, Гук ответил, что с помощью обратных квадратов мог бы объяснить любое движение планет. Однако когда Рен и Галлей потребовали от него подробностей, он сказал, что предпочёл бы держать их в секрете. Гук согласился раскрыть свою тайну, когда другие учёные попробуют провести

те же вычисления и *потерпят неудачу*.

Галлей был уверен, что это пустая похвальба, всего лишь детская игра, в которой Гуку хотелось отличиться. Его друзья ещё спорили, когда он собрался уходить из кафе. И тут он понял, что надо делать. Только один человек в мире мог разрешить этот спор. Вот почему в августе 1684 года в душной и неудобной карете он одолел путь от Лондона до Кембриджа.

К тому моменту Ньютон имел грозную репутацию. С 1669 года он занимал постоянный пост в университете, с 1672 года был членом недавно образованного Лондонского королевского общества. За год до встречи с Галлеем он даже представил обществу своё революционное изобретение — новый «отражающий» телескоп. Благодаря тому что свет отражался вогнутым зеркалом, а не линзами, изображение не портили радужные разводы — бич всех рефракционных телескопов.^[42]

Комнаты Ньютона находились на втором этаже Тринити-колледжа, между главными воротами и часовней. Через решётчатое окно душного помещения Галлей мог насладиться видом просторного сада. Он был со всех сторон окружён каменной оградой, и попасть в него можно было только по лестнице с крытой галереи, которая относилась к комнатам Ньютона. Трава была аккуратно подстрижена — владелец сада, одержимый порядком, не мог терпеть ни одной торчащей в сторону травинки. Ещё в саду имелись старая яблоня, водяной насос у стены и деревянный сарай. Галлей знал, что там часто днём и ночью горит огонь — это Ньютон проводит свои секретные алхимические эксперименты.

Галлей обернулся к загадочному хозяину жилья, который сидел на кушетке, ожидая объяснений, зачем его гость приехал издалека. Галлей откашлялся и задал свой вопрос: «Предположим, что сила притяжения к Солнцу обратно пропорциональна квадрату расстояния до него. По какой кривой тогда должны двигаться планеты?». ^[43]

«Разумеется, по эллипсу», — ответил Ньютон без всяких колебаний.

Ошеломлённый Галлей спросил, откуда Ньютону это известно.

«Я это рассчитал», — сказал Ньютон.

Однако сколько он ни рылся в своих записях и стопках бумаг, он никак не мог найти подтверждение своим словам. В итоге Ньютон пообещал Галлею провести расчёты повторно и отослать их результаты в Лондон.

Ньютон был человеком слова. Через несколько месяцев Галлею пришло письмо, озаглавленное «О движении тел по орбитам». На девяти страницах, полных определений, уравнений и геометрических чертежей, Ньютон доказал, что тело, на которое действует закон обратных квадратов,

движется по эллиптическому пути в соответствии с первым законом Кеплера. Кроме того, он продемонстрировал, что закон обратных квадратов для силы притяжения в сочетании с некоторыми базовыми принципами динамики объясняет не один, а *все* законы Кеплера. На самом деле Ньютон даже пошёл дальше и доказал, что первый закон Кеплера описывает лишь частный случай движения тела под воздействием силы притяжения в соответствии с законом обратных квадратов. В действительности же путь такого тела имеет форму не эллипса, а конического сечения.

Представьте себе конус, стоящий на основании, и острый нож, которым его можно разрезать. Если нож пройдёт сквозь конус параллельно поверхности, на которой он стоит, сечение будет иметь форму эллипса. Но если нож войдёт в конус с одной стороны, будет двигаться вниз и выйдет из конуса в месте соприкосновения его основания с поверхностью параллельно другой стороне, получившееся сечение будет параболическим. Если же нож войдёт в одну стену конуса вертикально, прорежет его насквозь до основания и выйдет с другой стороны, получится гипербола.

Эти три типа пути соответствуют трём разным ситуациям с точки зрения физики. Если тело, подчиняющееся закону обратных квадратов, не имеет достаточной скорости (или энергии), чтобы сопротивляться притяжению Солнца, оно навеки останется кружиться вокруг него по эллиптической орбите. Если энергии для «побега» достаточно, то оно будет двигаться по гиперболе, то есть просто улетит к звёздам и никогда не вернётся. Парабола — это путь тех тел, которые находятся на тонкой грани между первым и вторым состоянием. Такое тело сможет преодолеть притяжение Солнца, но лишь тогда, когда удалится от него на бесконечно большое расстояние, для чего на практике потребуется бесконечное количество времени.

Достижение Ньютона было поразительным. Он сумел сформулировать три закона движения совершенно иного характера, чем законы Кеплера. Несмотря на свою блестящую точность, законы Кеплера — это не что иное, как математическое описание движения планет вокруг Солнца. Ньютоновы же законы распространяются на движение любых тел, обладающих массой, от пушечных ядер и карет до планет. Они представляют собой положения о внутренней природе реальности, об отношениях между материей, силой и движением. Используя эти три закона и закон всемирного тяготения, Ньютон объяснил второй и третий законы Кеплера, а добавив к ним закон обратных квадратов — и первый закон Кеплера о движении планет по эллипсу. Кроме того, он сделал это громоздким языком геометрии, который могли понять его современники, вместо того чтобы записать всего пару

строк формул, используя изобретённое им математическое исчисление.^[44]

«Демонстрация Ньютоном закона эллипсов стала поворотным пунктом, границей между старым и новым миром, — говорит физик Дэвид Гудстейн из Калифорнийского технологического института в Пасадине. — Это одно из величайших достижений человеческого разума, которое можно поставить в один ряд с симфониями Бетховена, или пьесами Шекспира, или росписями Сикстинской капеллы кисти Микеланджело».^[45]

«Начала», или Приручение Вселенной

Закончив читать письмо от Ньютона, Галлей был потрясён. Он понял, что держит в руках ключ к пониманию всей Вселенной.

Галлей немедленно написал Ньютону, умоляя того разрешить напечатать этот труд. Но перфекционист Ньютон ответил отказом. Он не был доволен своей работой и считал, что может улучшить её и расширить. Ему ещё было что сказать о принципах движения и законе всемирного тяготения, а главное — об их влиянии на окружающий мир.

Но Галлей пробил брешь в плотине, и вскоре её прорвало. Ньютон, столько времени ревностно охранявший собственные открытия, был готов поведать о них миру. В течение 18 месяцев он исступлённо работал, шлифуя свои идеи и представляя их в такой убедительной форме, чтобы читатель ни на секунду не мог усомниться в их правоте. Результатом этого труда стали «*Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica*» — «Математические начала натуральной философии», опубликованные 5 июля 1687 года в трёх томах на 550 страницах. «Начала» не просто сделали Ньютона знаменитым. Они представили всеобъемлющую систему мироздания.

Ньютон сумел дистиллировать из запутанного хаоса окружающего мира капли чистейших фундаментальных законов, и это его достижение сложно переоценить. По сей день мы используем понятия массы, силы и скорости, но когда-то этой терминологии не существовало. Кто-то должен был её создать, и этим кем-то был Ньютон.

Он боролся с непоследовательностью языка, создавая фундаментальные понятия и наделяя их точнейшими определениями: «Абсолютное пространство по самой своей сущности безотносительно к чему бы то ни было внешнему остаётся всегда одинаковым и неподвижным. Абсолютное, истинное, математическое время само по себе и по самой своей сущности, без всякого отношения к чему-либо внешнему

протекает равномерно и иначе называется длительностью».^[46] Это была титаническая борьба, всё равно что попытка отбросить назад наползающий на берег туман. Ньютон пытался приручить саму Вселенную.

Лауреат Нобелевской премии пакистанец Абдус Салам писал: «Три столетия назад, примерно в 1660 году, были возведены два величайших монумента современной истории человечества, один на Западе, а другой на Востоке. Это были собор Святого Павла в Лондоне и Тадж-Махал в Агре. Эти два строения куда лучше, чем любые слова, демонстрируют сравнительные уровни архитектурной технологии, мастерства, богатства и утончённости двух культур той эпохи. Но в то же время на Западе был возведён и третий монумент, превосходящий и первый, и второй по своей важности для человечества. Я говорю о “Началах” Ньютона».^[47]

Сам Галлей использовал идеи из «Начал» Ньютона, чтобы доказать, что кометы, наблюдавшиеся в 1456, 1531, 1607 и 1682 годах, были одним и тем же небесным телом. Эта комета движется по вытянутой эллиптической орбите, уходящей далеко от Солнца, и возвращается в Солнечную систему, проходя мимо Земли, каждые 76 лет. Галлей верно предсказал, что в следующий раз она покажется на небосклоне в 1758 году. Пускай он не дожид до своего триумфа (не говоря уже о триумфе ньютоновской науки), но комету мы до сих пор называем кометой Галлея.

Самое необычное в «Началах» — это то, как житель XVII века с безупречной точностью одну за другой открывал для себя глубинные истины об окружающем мире. «Для него природа была открытой книгой, которую он свободно читал», — писал Эйнштейн. Александр Поуп посвятил ему такие строки: «Был этот мир глубокой тьмой окутан. Да будет свет! И вот явился Ньютон».

Сам Ньютон говорил о своих достижениях более скромно: «Не знаю, как меня воспринимает мир, но сам себе я кажусь только мальчиком, играющим на морском берегу, который развлекается тем, что время от времени отыскивает камешек более пёстрый, чем другие, или красивую ракушку, в то время как великий океан истины расстилается передо мной неисследованным».^[48]

Несмотря на скромность автора, «Начала» — это великий труд. Трёх томов было достаточно, чтобы отправить людей в космос к иным мирам, послать зонды к далёким звёздам и понять движение галактик на ночном небе.

«Начала» показывают Ньютона как великого мыслителя эпохи Просвещения. Это необычно, учитывая, что наука была лишь одним из интересов в его жизни. В коробке, которая осталась после смерти Ньютона (той самой, где лежали его еретические заметки о природе Троицы), имелись и другие документы — сотни страниц, посвящённых его алхимическим экспериментам и заключениям, а также изучению Библии, например расчёты истинных параметров храма Соломона.

Ньютон был алхимиком и применял в своей работе навыки, полученные во время проживания в доме аптекаря в Грантеме. Он пытался превратить свинец в золото, воспроизводя эксперименты учёных, живших до него. Он также изучал Библию, стремясь постичь древнюю мудрость. Он верил, что Создатель повсюду оставил для него подсказки, и не все из них лежат в сфере науки.

Ньютон участвовал в собственном крестовом походе за постижением мира. Это ещё одна причина, по которой он не хотел делиться своими знаниями с другими, и людям вроде Галлея приходилось вытаскивать их клещами. Писатель и историк Питер Акرويد замечает: «Он знал что-то, чего другие не знали и не могли понять, и это наполняло его пьянящим чувством власти. Вероятно, он хотел, чтобы оно продлилось как можно дольше».^[49]

Наука, алхимия, Библия — всё это Ньютон считал равно важными путями к пониманию творения, равными путями к Богу. На самом деле Ньютон проводил гораздо больше времени в алхимической лаборатории или за чтением Библии, нежели в работе над научными открытиями. Он даже предсказал, что конец света наступит в 2060 году. И это уже не говоря о том, что он провёл 28 лет в качестве главы Королевского монетного двора в Лондоне, занимаясь стандартизацией британской монетной системы и преследуя фальшивомонетчиков.

Джеймс Глик отмечает, что если Ньютон и был полон противоречий, то это объясняется его местом в истории: «Он родился в мире тьмы, неясности и магии. Его имя было предзнаменованием новой системы мира. Но для самого Ньютона не существовало завершённости — лишь движение, постоянное, переменчивое, не имеющее конца. Он никогда не отделял пространство и материю от Бога, не отказывался от мистики в своём видении природы. Он искал порядок и стремился к нему, но продолжал при этом смотреть в бездну хаоса. Кем бы он ни был, ньютоном он не был точно».^[50]

Живший в XIX веке экономист Джон Мейнард Кейнс имел похожие

взгляды. В 200-летнюю годовщину рождения Ньютона он писал: «Он был последним великим мыслителем, который смотрел на видимый и мысленный мир такими же глазами, как и те, кто начал создавать наше интеллектуальное наследие меньше десяти тысяч лет назад. Он не был первым из рационалистов, он был последним из волшебников».

Для дополнительного чтения

Ackroyd P. Newton. — London: Vintage, 2007.

Gleick J. Isaac Newton. — London: HarperCollins, 2004.

Pask C. Magnificent Principia. — New York: Prometheus Books, 2013.

3. Тебе грозят бедою воды марта

Какие последствия имела ньютоновская теория гравитации и как она объясняет не только движение планет, но и приливы и отливы.

*Дела людей, как волны океана,
Подвержены приливу и отливу.
Воспользуйся приливом — и успех
С улыбкою откликнется тебе;
С отливом же всё плаванье твоё
В тяжёлую борьбу преобразится
С мелями и невзгодами.*

Уильям Шекспир. «Юлий Цезарь»^[51]

Время и прилив никого не ждут.

Английская пословица^[52]

Была середина марта, стояло ясное, холодное утро, и почти полная луна бледнела в голубом небе. Множество людей собрались на берегу в ожидании. Здесь были даже журналисты с телевидения; молодая женщина в красной дутой куртке и шарфе в клетку Burberry что-то говорит на камеру. Периодически кто-то в толпе посматривает на часы, а затем на реку. Кажется, что в ней нет ничего интересного — всего лишь вода, медленно текущая к океану, да парочка забавных лебедей у противоположного берега, которые то и дело ныряют в воду, выставляя вверх белые хвосты.

Дело происходит на реке Северн около деревни Минстерворт в Глостершире. Здесь всё дышит покоем, и сложно поверить, что вот-вот произойдёт что-то необычное. Может быть, мы зря проделали долгий путь и оставили машину где-то в полях? Может быть, это какая-то шутка и нас всех ввели в заблуждение?

Но затем мы слышим гул, словно отдалённый раскат грома. Испуганные лебеди перестают нырять и начинают суетливо озираться. Журналистка в красной куртке прерывается на середине предложения и поворачивается, чтобы посмотреть на горизонт. И вдруг мы все видим это:

облако водной пыли, возникшее высоко в воздухе над поворотом реки, а за ним бурлящую, кипящую стену пены и шоколадно-коричневой воды. Ширина этой стены — 90 метров, от берега до берега. На её гребне виднеются каякеры и сёрферы в мокрых костюмах, которые проехали на огромной волне от самой дельты Северна (кстати, мировой рекорд принадлежит сёрферу по имени Стив Линг, преодолевшему таким образом расстояние 14,9 километра). Перед нами севернский бор, огромная разъярённая приливная волна, движущаяся со скоростью 21 километр в час против течения реки.

Волна быстро приближается и так же быстро уходит, исчезая из нашего поля зрения за следующим поворотом реки. Она движется к Глостеру, где разобьётся о городские доки. Большая часть «пассажиров» движется дальше вместе с рекой. Двое сёрферов, которые столкнулись на гребне волны, сейчас барахтаются в успокаивающихся водах реки вместе с удивлёнными лебедями.

Журналисты складывают оборудование в сумки и коробки, а остальные зрители расходятся по машинам. Все возбуждены, слышен смех. Люди уверены, что только что стали свидетелями одного из чудес природы.

Что такое боры

Севернский бор — одна из примерно 60 приливных волн такого типа в мире.^[53] Самый большой и страшный из них возникает на реке Цяньтанцзян в Китае. Весной жуткая волна высотой с трёхэтажный дом движется по реке с такой скоростью, что большинство людей не смогли бы обогнать её даже бегом.^[54] Её рокот слышен на расстоянии 22 километров. Лодки на это время вытаскивают на сушу, иначе их просто разобьёт в щепки. Каждый год, несмотря на многочисленные предупреждающие знаки, установленные на берегу, несколько людей подходят слишком близко к воде, и их уносит волной.

Существует несколько условий для появления бора, в первую очередь дельта определённой формы и сильная амплитуда прилива. А дельта Северна, где разница в уровне воды при приливе и отливе составляет 15,4 метра, имеет вторую по величине амплитуду прилива в мире. Быстро поднимающаяся вода попадает в канал, который становится всё уже и мельче, и в какой-то момент скорость воды, движущейся против течения, превышает скорость самого течения. Происходит так называемый гидравлический прыжок, то есть волна поднимается и стремительно

движется вверх по направлению к устью. Аналогичный, пускай и статический эффект можно наблюдать у себя на кухне, когда вода из крана бьёт в раковину и распределяется по ней, резко изменяя высоту воды; при этом скорость распределения соответствует скорости прибывающей воды. Цунами нельзя почувствовать, находясь в море, но оно растёт по мере приближения к берегу. Точно так же и севернский бор выглядит лишь лёгким волнением в самой дельте, но растёт и ускоряется по мере продвижения по постоянно сужающемуся каналу.

Самые большие приливные волны такого типа возникают весной и осенью. Дело в том, что севернский бор и его родственники по всему свету — это не что иное, как экстремальные проявления приливной силы, которая весной и осенью достигает своего пика. Так как приливы и отливы возникают под влиянием Луны, следовательно, и севернский бор — это тоже её порождение. Поразительно, что стремительно движущуюся стену воды, которая пугает лебедей и развлекает сёрферов, создало космическое тело, находящееся в 384 000 километров от Глостершира.

Луна в небе кажется такой маленькой, что мы можем легко закрыть её пальцем. Кажется нелепым, что именно в ней кроется причина события, которое мы наблюдали холодным мартовским утром на берегу Северна. Неудивительно, что причины возникновения бора и появления приливов и отливов в целом очень долго оставались тайной для человечества.

Под ударами приливных волн

Нельзя сказать наверняка, когда люди впервые заметили динамику приливов и отливов. Но мы знаем, что наши предки несколько раз покидали Африку и расселялись по миру: 1,8 миллиона лет назад это впервые сделали *Homo erectus*, а 600 000 лет назад последними из Африки появились современные люди. С большой долей вероятности они двигались вдоль морских побережий, чтобы избежать препятствий (гор, пустынь и лесов) и постоянно иметь под рукой источники пищи.^[55] Пока наши дальние и не очень предки шагали босиком по песку, они кое-что уяснили для себя: дважды в день море вдыхает и выдыхает — выплёскивается на берег и возвращается в свои прежние границы. Если смотреть на это движение с утёса или высокой скалы, станет ясно, что на самом деле данный процесс более фундаментальный: дважды в день море поднимается и опускается.

Прошло время — много, много времени. Люди изобрели сельское

хозяйство, построили города и начали размышлять о явлениях мира, в котором они живут. По воле случая античные цивилизации Запада жили у Средиземного моря, в котором приливы и отливы едва заметны. Население средиземноморских государств не знало о них, и это сыграло злую шутку с Юлием Цезарем, который в 55–54 годах до нашей эры привёл римский флот к берегам Британии.

«В ту ночь было полнолуние, которое обычно вызывает большой прилив в океане, однако нашим людям было неизвестно это обстоятельство. В тот момент приливные волны начали заливать военные корабли, на которых Цезарь перевозил свою армию и которые находились у берега. Ветер же сталкивал грузовые суда, стоявшие на якоре».^[56]

«Тебе грозят бедою иды марта», — предупреждал Цезаря перед смертью прорицатель в пьесе Шекспира, хотя лучше бы он посоветовал ему остерегаться мартовских вод. Возможно, тогда бы его флотилия понесла меньший ущерб в Атлантическом океане. Кстати, подобное предупреждение, в принципе, было возможно в то время. Несмотря на то что римляне мало знали о приливах и отливах, их основные характеристики были известны примерно с 330 года до нашей эры, когда греческий астроном и исследователь Пифей сумел добраться на корабле из Средиземного моря, практически окружённого сушей, до Британских островов. Впервые выйдя на судне на простор Атлантического океана, Пифей совершил фундаментальное открытие.^[57] Наибольшую силу приливы имеют в новолуние (когда солнечный свет вообще не отражается Луной) и полнолуние (когда Луна полностью освещена Солнцем). Невероятно, но приливы, судя по всему, управляются Луной.

Кстати, факт, что самые высокие приливы возникают при таком расположении Луны и Солнца в пространстве, что Луна либо полностью освещена, либо не освещена вовсе, подсказывает, что и Солнце тоже играет роль в этом процессе. И Пифей это понимал. Участие Солнца также подтверждает то, что более высокие приливы приходятся на весну и осень — два особенных периода в годовом путешествии Земли вокруг Солнца.

Знание ключевых характеристик приливов и отливов — это, несомненно, важный шаг на пути к пониманию причин этого явления. Тем не менее в течение почти двух тысячелетий после Пифея никто даже не приблизился к тому, чтобы разгадать их тайну.

В начале VIII века английский монах и хронист Беда Достопочтенный заметил, что высокие приливы начинались в разных портах, расположенных вдоль побережья Британии, в разное время. Его идея

состояла в том, что ландшафт, наряду с Солнцем и Луной, также задаёт определённые характеристики приливов. Это наблюдение подтверждалось отсутствием сильных приливов в окружённом сушей Средиземном море, а также гигантскими приливными волнами в эстуарии Северна.

О силе, которая вызывает приливы, Беда знал не больше своих современников. Он предположил, что Луна сдувает море на берег, а когда она перемещается, её дыхание оказывается слабее, и море возвращается в свои берега. «[Океан] как будто против его воли выталкивают на сушу вздохи Луны, а когда её силы истощаются, он принимает свою обычную форму».

Первую попытку объяснить приливы с научной точки зрения сделал арабский физик и астроном Закария аль-Казвини, живший в XIII веке. По его мнению, приливы возникают из-за того, что Луна и Солнце нагревают океанские воды и те расширяются от точки нагрева. Пускай эта версия и кажется достаточно правдоподобной, она не объясняет, почему именно Луна, а не Солнце играет главную роль в управлении приливами. Приливы, вызываемые Луной, почти в два раза больше тех, которые вызывает Солнце.

В 1609 году Иоганн Кеплер (скорее всего, под влиянием недавнего открытия Уильямом Гилбертом магнитного поля Земли) предположил, что приливы вызывает сила магнитного притяжения, с которой светила действуют на моря. Галилей, хоть и был большим поклонником Кеплера, посчитал это предположение «по-детски глупым». Для него сама мысль о том, что астрономические тела могут воздействовать на Землю на расстоянии, казалась полным оккультизмом. Сам Галилей считал, что приливы вызывает совместное влияние вращения Земли вокруг своей оси и её движения по орбите вокруг Солнца. Из-за таких движений, по его мнению, океаны движутся взад-вперёд.

На самом деле ни у кого из них не было ни малейшего шанса понять, что в действительности вызывает приливы, потому что у них не было для этого необходимого математического инструментария. Не было — пока не появился Ньютон.

Ньютон в одиночку создал систему мира, объединяющую Землю и небеса в единую теоретическую структуру, и открыл закон всемирного тяготения. Он понимал, что этот закон действует на все тела, даже на те, которые находятся вне Солнечной системы. Ньютон внимательно изучил все типы такого воздействия и описал их в своём шедевре — «Началах». Главное место среди подобных воздействий он отвёл приливам.

Приливы и их связь с Луной

При расчёте силы притяжения, с которой Земля влияет на Луну, Ньютон рассматривал всю массу планеты сконцентрированной в одной точке в её центре. Он даже смог доказать это, используя новомодную математику интегрального исчисления. Но такой подход был всего лишь удобным приближением. Разумеется, в реальности Земля гораздо больше точки. Соответственно, какие-то части планеты находятся ближе к Луне, а какие-то — дальше от неё. Приближённая к Луне часть Земли испытывает большее притяжение, чем другие. Ньютон понял, что у этой разницы в значении гравитационного воздействия должны быть серьёзные последствия. В первую очередь они должны затрагивать океаны, потому что вода, в отличие от твёрдой породы, движется свободно.

Представьте себе точку в океане, которая находится прямо напротив Луны. Притяжение Луны сильнее воздействует на воду на поверхности, чем на воду у дна, ведь дно более удалено от Луны. Ньютон понял, что эта разница в притяжении заставляет верхние слои воды двигаться относительно нижних по направлению к Луне.

Но и это ещё не всё. Теперь представьте себе точку в океане на обратной стороне Земли. Здесь притяжение Луны будет сильнее ощущаться на дне, чем на поверхности, ведь оно ближе к Луне. Такая разница в притяжении заставляет нижние слои воды сдвинуться относительно верхних.

Таким образом, в соответствии с предположениями Ньютона, Луна создаёт в земных морях не один, а два сдвига: в точке, приближённой к ней, и в точке, которая от неё максимально удалена. [\[58\]](#)

Но Земля не стоит на месте, а вращается вокруг своей оси. Это значит, что каждые 24 часа океаны и моря проходят через эти две точки. Человеку, который в течение суток находится на морском берегу, будет казаться, что вода дважды за день поднялась и опустилась. Итак, Ньютон объяснил то, что никто не мог объяснить до него: почему приливы случаются два раза в сутки. Разгадка заключалась в законе всемирного тяготения, которое ослабевает по мере увеличения расстояния. До Ньютона о нём просто никто не знал.

Здесь есть одна тонкость, о которой Ньютону было известно. Приливы и отливы повторяются не каждые 24, а каждые 25 часов. Это заметил ещё Пифей в 330 году до нашей эры.

Давайте ещё раз подумаем о Луне. Она не просто висит в небе над

одной точкой, пока Земля вращается под ней. Вместо этого она обходит Землю по орбите, двигаясь в том же направлении, в котором поворачивается сама планета. Для того чтобы пройти орбиту полностью, Луне требуется 27,3 суток. Это значит, что наша воображаемая точка, находящаяся прямо под Луной, не окажется под ней через 24 часа. За время одного оборота Земли по своей оси Луна сместится на собственной орбите. Чтобы нужная нам точка снова оказалась прямо под Луной, Земля должна пройти ещё $1/27,3$ своего полного оборота, что займёт у неё $1/27,3$ от 24 часов, то есть около 53 минут. Соответственно, два прилива произойдут не за сутки, а за 24 часа 53 минуты. Это одна из причин, по которой для расчёта точного времени прилива и отлива в определённой точке побережья требуются подробные таблицы.

Тот факт, что каждый день Луна восходит на 53 минуты позже, а приливы задерживаются на то же время, ещё раз подтверждает связь между ними.

Но почему приливы на Средиземном море практически незаметны? Ответ заключается в географии, а ещё — в морской глубине. По мере вращения Земли два приливных горба смещаются на запад, то есть движутся к Средиземному морю со стороны Индийского океана. Здесь на их пути появляется преграда в виде Ближнего Востока, и океанский горб не попадает в море.

А что происходит в те дни, когда Луна находится прямо над Средиземным морем? В этом случае приливный горб *действительно* возникнет, но будет небольшим. Причина в том, что разница между силой притяжения Луны на поверхности воды и на дне зависит от глубины. Если водоём мелкий, то и разность невелика, а значит, приливный горб будет низким, и наоборот. Средиземное море не отличается глубиной — в среднем она составляет 1,5 километра против 3,3 километра в Атлантическом океане. Соответственно, приливы на Средиземном море будут более чем в два раза слабее океанских, даже если Луна будет находиться прямо над ним.

В учебниках и научно-популярных книгах два приливных горба в океане описываются как нечто огромное, но на самом деле они до смешного малы. Луна поднимает морскую воду максимум на метр, то есть всего на одну миллионную долю радиуса Земли. Но океан велик, и метровый горб, растянутый на большой территории, содержит огромную массу воды. Поэтому, когда такая вода достигает берега, высота волн увеличивается (как в случае с цунами). В открытом море прибой незаметен, а при приближении к суше может вырасти более чем в десять раз.

Приливы и их связь с Солнцем

Как выяснил Пифей, приливы вызывает не исключительно притяжение Луны, а совместное воздействие Луны и Солнца. Причина понятна — эти два небесных тела оказывают на Землю наибольшее воздействие. Луна весит куда меньше Солнца, но находится существенно ближе к Земле и выигрывает за счёт расстояния. Приливы, вызываемые Луной, в два раза больше вызываемых Солнцем. Из этого мы можем заключить, что Луна в два раза плотнее Солнца. ^[59]

Самые большие приливы возникают, когда силы гравитации Луны и Солнца увеличивают друг друга. Это происходит весной и осенью. Суть в том, что Земля вращается вокруг своей оси, подобно юле, отклоняясь от вертикали на 23,5 градуса. Следовательно, и орбита Луны тоже наклонена. ^[60] С точки зрения геометрии это означает, что Луна и Солнце находятся на одной линии и совместно воздействуют на земные океаны с максимальной силой лишь в те моменты, когда Земля находится на своей орбите между зимой и летом, то есть осенью и весной.

Для такого построения Солнце и Луна должны оказаться на одной стороне от Земли (тогда наступает новолуние, потому что Луну закрывает тень) или на противоположных сторонах (тогда Солнце освещает Луну полностью и наступает полнолуние). Вот почему самые сильные приливы и высокие боры на Севере наблюдаются осенью и весной, когда в небе либо сияет полная Луна, либо Луны нет вовсе. ^[61]

Луна и Солнце вызывают приливный эффект не только в океанах, но и на всей планете. Но каменные породы куда более твёрдые, чем вода, поэтому сила притяжения воздействует на них меньше, а увидеть её влияние очень сложно. Примечательно, что такие приливы на Земле были впервые замечены (пускай и не поняты) ещё в античные времена.

Приливы на суше: колодцы и ручьи

Приливы — довольно странное явление. Они происходят дважды за 25 часов, а не за 24, они изменяются в зависимости от времени года и фаз Луны. Кроме того, они зависят от ландшафта. Но есть и ещё одна характеристика приливов, впервые отмеченная греческим философом Посидонием, которая кажется более удивительной, чем все остальные.

Посидоний жил между 135 и 51 годами до нашей эры и наблюдал за приливами в Атлантическом океане на побережье Испании. Кроме того, он

обращал внимание и на воду в колодцах и заметил кое-что необычное. Когда вода в океане поднимается, родниковая вода уходит ниже под землю, и наоборот. Оригиналы записей Посидония утрачены, но греческий географ Страбон, живший в начале нашей эры, упоминает о них в своей «Географии»: «В [храме] Геракла в Гадесе [Кадисе] есть источник, к которому можно спуститься по нескольким ступеням (вода в нём хороша для питья). Этот источник действует противоположно движению моря: во время прилива его воды опадают, а во время отлива он вновь наполняется».

Что может заставить воду в небольшом роднике или ручье двигаться в ином направлении, чем в морях и океанах? В то время на этот вопрос невозможно было ответить, потому что причина приливов оставалась загадкой. Ответ нашёлся лишь в 1940 году благодаря американскому геофизику по имени Хаим Лейб Пекерис.^[62]

Прилив можно определить не просто как движение воды, но как изменение формы одного тела под влиянием притяжения другого. При формировании приливного горба притяжение Луны воздействует не только на поверхность океана, но и на воду под ней, и на дно. Вот только горб на твёрдой поверхности оказывается гораздо меньше, так как каменные породы куда плотнее. Итак, каждые 25 часов где-то на Земле образуется бугор суши, который через некоторое время разглаживается.

Теперь представим, что порода, в которой вырыт колодец, имеет пористую структуру и впитывает воду. Это вполне возможно, ведь раз люди выкопали колодец, значит, где-то поблизости есть вода. Окружающая колодец порода похожа на пропитанную жидкостью губку. И, как и губка, она впитывает в себя воду при растяжении и выжимает её при сжатии.

И камни, и морская вода растягиваются при приливе и сжимаются при отливе. Соответственно, во время прилива уровень воды в колодце снижается, а во время отлива — повышается. Именно это явление и наблюдал Посидоний и через 2000 лет объяснил Пекерис.

Каменные приливы и БАК

Позвольте мне привести ещё один пример того, как приливы возникают и в твёрдой материи, на этот раз более высокотехнологичный и современный. В ЦЕРНе, Европейской лаборатории физики элементарных частиц, расположенной около Женевы, субатомные частицы разгоняют до огромных скоростей в подземном тоннеле, длина окружности которого составляет 26,7 километра. Пока наверху мирно пасутся коровы, всего в

100 метрах под ними с невероятной силой сталкиваются мельчайшие строительные блоки материи. Кинетическая энергия изначальных частиц превращается в энергию массы частиц новых, которые появляются из вакуума, точно кролик из шляпы фокусника.^[63] Всю субатомную шрапнель, разлетающуюся от места столкновения, регистрируют огромные детекторы. Именно в этом субатомном «мусоре» в июле 2012 года и был найден бозон Хиггса (частица поля Хиггса, наделяющего все прочие субатомные частицы массой).

Бозон Хиггса был открыт благодаря Большому адронному коллайдеру, в котором пучки протонов движутся по кольцу навстречу друг другу на скорости, равной 99,9999991% скорости света.^[64] БАК располагается в кольцевом тоннеле, где раньше находился другой ускоритель частиц — Большой электрон-позитронный коллайдер, в котором электроны сталкивались со своими античастицами (позитронами). Именно во время использования БЭПК в 1992 году физики заметили, что с энергией пучков частиц происходит что-то необычное.^[65]

Более 3000 электромагнитов, расположенных по окружности БЭПК, направляли электроны и позитроны, постоянно искривляя их путь и не давая им по инерции лететь прямо. Однако физики, работавшие на БЭПК, отмечали, что каждые 25 часов частицы несколько отклонялись от своего пути, а затем снова возвращались на него. Для того чтобы пучки не вырвались за пределы кольца, учёным приходилось постоянно компенсировать это отклонение, медленно увеличивая энергию частиц, а затем снова её уменьшая. Изменение было крошечным, всего на 0,01%.

Из-за чего частицы могли бы отклоняться от своей траектории с такой периодичностью? После некоторых размышлений учёные нашли ответ. Приливы и отливы возникают дважды каждые 25 часов. Удивительно, но, судя по всему, явление, наблюдаемое в БЭПК, было с ними связано.

Два раза за каждые 25 часов в породе, внутри которой находился БЭПК, образовывался приливный горб. Растяжение породы заставляло кольцо сжиматься. Затем горб исчезал, сжимая породу и расширяя БЭПК. Земля поднималась вверх на каких-то 25 сантиметров (это примерно длина книги, которую вы сейчас читаете), и это уменьшало длину окружности БЭПК почти на миллиметр.^[66] Тем не менее этого было достаточно, чтобы учёным потребовалось периодически корректировать энергию частиц примерно на 0,01%, иначе они бы вырвались из кольца.^[67]

Разумеется, данный эффект ощущался сильнее при полной Луне и в новолуние, когда Луна и Солнце оказывались на одной линии и усиливали

влияние друг друга на Землю. Сложно представить себе более технологичное проявление приливной силы на суше.^[68]

Лунотрясения

Но не только земные породы могут испытывать растяжение и сжатие. То же самое происходит и на Луне. На самом деле Земля вызывает на Луне куда более сильные приливы, чем Луна на Земле, потому что масса нашей планеты примерно в 81 раз больше массы её спутника. Соответственно, и приливная сила на Луне должна быть в 81 раз больше. Но, как мы помним, приливы вызывает не притяжение само по себе, а разность притяжений. Диаметр Луны равен примерно четверти диаметра Земли. Такое короткое расстояние означает, что разница в гравитации имеет в четыре раза меньше возможности проявить себя. Итак, сила, с которой Земля воздействует на Луну, вызывая растяжение, больше той, с которой Луна воздействует на Землю, не в 81, а примерно в 20 раз.^[69] Тем не менее и этого достаточно для растяжения породы примерно на десять метров.

Мы представляем себе Луну холодной и безжизненной. Кажется, будто ничто на её серой, покрытой кратерами поверхности никогда не изменялось. Но раз на Луну действуют силы сжатия и растяжения, значит, она вовсе не похожа на неподвижную пустыню. Задолго до изобретения телескопа люди замечали на Луне странные огни, которые зажигались каждые несколько месяцев. Одно из самых ранних наблюдений было сделано 18 июня 1178 года, когда пятеро монахов из Кентербери заявили, что были свидетелями взрыва на Луне. Эти загадочные огни, называемые ещё кратковременными лунными явлениями (КЛЯ), представляют собой одну из главных тайн Луны.

КЛЯ, наблюдаемые в эпоху телескопов, имеют ряд общих черт. Они локализованы и слегка превышают предел разрешающей способности человеческого глаза, то есть их площадь составляет не менее одного квадратного километра. Они длятся от минуты до нескольких часов и делают поверхность Луны то ярче, то тусклее. Перед исчезновением некоторые из них меняют свой цвет на рубиново-красный.

Долгое время многие астрономы были уверены, что КЛЯ существуют только «в глазах смотрящего» и не имеют отношения к Луне как таковой. Но в 2002 году Арлин Кроттс из Колумбийского университета в Нью-Йорке проанализировал записи о 1500 таких явлениях и выяснил, что КЛЯ чаще всего возникают в шести местах на Луне: половина в кратере Аристарх

диаметром 45 километров, а четверть — в 100-километровом кратере Платон.^[70]

Во всех этих местах лунная кора была жестоко деформирована либо из-за удара метеорита или кометы, произошедшего в течение последней сотни миллионов лет, либо в результате более сильного воздействия, которое имело место 3,8 миллиарда лет назад и заставило лаву выплеснуться на поверхность и сформировать лунные моря.^[71]

Сейсмометры, установленные на Луне членами экипажей всех «Аполлонов», кроме одного, зарегистрировали уже несколько сотен лунотрясений, которые случаются тем чаще, чем сильнее приливное воздействие Земли. Большинство очагов лунотрясений располагается по периметрам морей, там, где порода наиболее деформирована. Кроме того, «Аполлон-15», «Аполлон-16» и зонд «Lunar Prospector», облетевший Луну по орбите в 1998 году, регистрировали случайные выбросы радиоактивного газа радона-222, происходившие исключительно в шести зонах КЛЯ.

Радон-222 представляет собой продукт распада урана, входящего в состав глубинных лунных пород. Кроттс предположил, что КЛЯ возникают, когда из-за лунотрясения газ вырывается на поверхность через трещины в лунной коре. Газ находится под давлением и выбивает часть лунного грунта (реголита) вверх, как пробку из бутылки.

Кроттс считает, что всего полутонны газа, вырывающегося в вакуум, будет достаточно для того, чтобы пробить реголит и создать облако диаметром пару километров, которое рассеется за 5–10 минут. Газовое облако либо отбрасывает тень на область под ним, либо светится, потому что частицы пыли в нём отражают больше света, когда они рассеяны в вакууме, а не лежат на поверхности Луны. Также возможно, что трение частиц наделяет их положительными и отрицательными зарядами, между которыми в какой-то момент возникает разряд вроде молнии. Такой разряд даёт энергию атомам газа, от чего они начинают излучать характерный красный свет.

По расчётам Кроттса, из-за периодического растягивания и сжатия Луны под влиянием притяжения Земли ежегодно перемалывается около 100 000 тонн породы. Столько весит целый авианосец. В процессе такого перемалывания в космос выбрасывается около 100 тонн газа.

Это предположение имеет не только теоретическое, но и практическое значение. Мы планируем и дальше отправлять людей на Луну. «Аполлон-18», запуск которого был отменён, должен был совершить посадку как раз в одной из зон КЛЯ. Если бы КЛЯ произошло, астронавты

оказались бы в большой опасности. Представьте себе такую картину: 20 июля 2025 года, кратер Аристарх, ближняя сторона Луны. Ровно через 56 лет после «Аполлона-11» космический корабль NASA «Альтаир-2» сел на поверхность Луны. Через несколько часов после этого астронавты совершают первые шаги по Луне — впервые почти за полвека. Внезапно дно кратера начинает пульсировать и из него вырывается газ, поднимая вверх огромный столб пыли. Сбитые с ног взрывом астронавты поднимаются и смотрят на место своей посадки. Корабля там больше нет — он исчез в клубах серебристой пыли.

Если Кроттс прав, то Луна — гораздо более опасное место для людей, чем мы предполагали. И это объясняется с помощью ньютоновской теории приливов.

Раз лунотрясения возникают под влиянием приливной силы Земли, то логично было бы предположить, что Луна играет какую-то роль в землетрясениях. Но, судя по всему, это не так, по крайней мере не в случае больших катаклизмов. Однако удивительно, что толчки после разрушительного землетрясения 22 февраля 2001 года в Крайстчерче, Новая Зеландия, коррелировали с расположением Луны на небе.^[72] Возможно, после сильного удара обломки породы были нестабильны и, для того чтобы привести их в движение, оказалось достаточно даже самого небольшого воздействия.

Как замедлить Луну

Приливы и отливы на Земле и на Луне не просто изменяют форму каждого из небесных тел, вызывая колебания уровня воды в земных океанах и лунотрясения. Они также имеют огромные последствия для системы Земля–Луна в целом. Когда-то Луна вращалась вокруг своей оси быстрее, чем сейчас. Однако под влиянием приливных сил Земли её движение замедлилось.

Когда Луна вращалась быстрее, приливный горб, возникавший под влиянием Земли, двигался вместе с ней и не находился прямо напротив нашей планеты. Земная гравитация оттягивала его назад, и ход Луны затормаживался. В какой-то момент Луна начала вращаться вокруг своей оси так медленно, что делала лишь один оборот за время прохождения земной орбиты.

Именно так дело обстоит и сейчас. Одна сторона Луны, ближняя, всё время смотрит на Землю, в то время как дальняя сторона никогда не

поворачивается к нам. Человечество впервые увидело её только 7 октября 1959 года, когда советский лунный зонд «Луна-3» пролетел над ней.^[73]

Из-за синхронного обращения Луны приливный горб, появившийся под влиянием Земли, теперь направлен в её сторону. Поскольку теперь Луна не тащит его за собой при движении, гравитация Земли, ранее тянувшая горб назад, замедляя ход Луны, больше не влияет на её вращение. Луна оказалась зафиксированной в таком положении, как только период её вращения вокруг своей оси совпал с её орбитальным периодом.

Как замедлить Землю

Приливные силы замедляют движение не только Луны. Скорость вращения Земли тоже уменьшается из-за них. Этот эффект менее заметен, чем на Луне, так как Земля гораздо массивнее, а значит, лучше сопротивляется попыткам изменить её движение. Представьте себе приливный горб в океане на той стороне Земли, которая смотрит прямо на Луну. Так как Земля вращается быстро, такой горб будет обгонять линию, соединяющую нашу планету со спутником.^[74] Сила притяжения Луны начнёт оттягивать приливный горб назад, замедляя движение Земли.

Из этого неизбежно следует вывод, что раньше Земля вращалась быстрее. И у этого предположения есть доказательство. Как ни странно, оно заключается в кораллах. Эти морские организмы, часто встречающиеся в тропических морях, выделяют карбонат кальция, из которого формируют свой твёрдый внешний скелет. Ежедневный и ежесезонный рост их внешнего скелета можно проследить по слоям карбоната кальция, примерно как динамику роста дерева можно понять по годовым кольцам. Посчитав количество колец у коралла, можно определить, сколько дней было в том или ином году. Ископаемые кораллы, жившие примерно 350 миллионов лет назад, показывают, что в то время год состоял из 385 дней. Раз длительность года, то есть периода времени, необходимого Земле, чтобы обогнуть Солнце по орбите, не изменилась, значит, 350 миллионов лет назад день длился менее 23 часов.^[75]

Увеличение суток всего на час за 350 миллионов лет означает, что Земля лишь слегка замедлила свой ход. Но этот процесс неумолимо продолжается. Например, мы знаем, что день сегодня на 1,7 миллисекунды дольше, чем был век назад. Мы даже можем с уверенностью сказать, что в течение последних 2,5 тысячи лет день увеличивался на 1,7 миллисекунды каждые 100 лет. Удивительно, но подтверждение этому учёные нашли в

вавилонских глиняных табличках. [\[76\]](#)

Вавилонские астрологи заносили в такие таблички данные о полных солнечных затмениях. Во время такого затмения Луна полностью закрывает солнечный диск и Земля на некоторое время погружается во мрак посреди дня. Большинство табличек было обнаружено в XIX веке крестьянами, которые искали кирпичи для строительства. Таблички были проданы собирателям древности в Багдаде, находившемся в 85 километрах от того места, где когда-то стоял Вавилон. Оттуда они попали в Британский музей в Лондоне (сегодня он может похвастаться почти полной коллекцией). На многих табличках указано точное время солнечных затмений.

И вот здесь возникает загадка.

Например, астролог, живший в 136 году до нашей эры, записал, что в 08:45 утра 15 апреля весь Вавилон погрузился во мрак, потому что Луна на некоторое время оказалась перед Солнцем. Казалось бы, у нас нет оснований не верить его записям. Но если современные астрономы с помощью компьютерного моделирования отмотают время назад, то окажется, что полное солнечное затмение 15 апреля 136 года до нашей эры не должно было быть видно из Вавилона. Земля, Солнце и Луна не выстроились в одну линию на этой долготе. «Зоной полного затмения» был бы остров Майорка, расположенный на 48,8 градуса западнее Вавилона.

Разница 48,8 градуса равняется примерно $1/8$ полного оборота Земли, то есть 3,25 часа. Судя по всему, во время полного солнечного затмения 15 апреля 136 года до нашей эры Земля была на $1/8$ своего полного оборота сдвинута к востоку. Этому может быть только одно объяснение. За последнюю тысячу лет Земля начала вращаться медленнее. С 136 года до нашей эры прошло около миллиона дней, так что, даже если дни в то время были на долю секунды короче сегодняшних, эти доли в совокупности могут объяснить расхождение во времени на 3,25 часа. В 500 году до нашей эры день должен был быть на $1/20$ секунды короче, чем сегодня, и каждые 100 лет должен был увеличиваться на 1,7 миллисекунды. Это единственное объяснение записи на глиняной табличке.

Поразительно, что линии на глиняной табличке, нанесённые представителями древней цивилизации, могут содержать такую точную астрономическую информацию и что такие важные сведения зависели от того, сойдутся ли Луна и Солнце на одной линии в небесах. При таком их расположении возникает своего рода пояс затмения, имеющий не более 250 километров в ширину. Полные затмения в каждой конкретной точке планеты наблюдаются крайне редко. Так что, если античный учёный

наблюдал затмение с определённого места, современным астрономам не обязательно знать точную дату, чтобы его идентифицировать. Значения времени ± 20 лет будет достаточно.

Здесь в истории возникает новый поворот. Небольшие изменения формы орбит, по которым движутся искусственные спутники, вызываемые приливным горбом Земли, показывают, что замедление нашей планеты должно увеличивать день не на 1,7, а на 2,3 миллисекунды раз в 100 лет. Значит, на вращение Земли должно влиять что-то ещё. Оказалось, что это что-то связано с последним ледниковым периодом, который закончился около 13 000 лет назад.

Во время ледникового периода на Землю давил огромный вес ледяных покровов, которые немного сплющивали планету с полюсов. Когда льды начали таять, земля под ними стала подниматься. Этот процесс длится по сей день, делая Землю более округлой. Соответственно, планета начинает вращаться быстрее, как конькобежец, прижавший руки к бокам. Из-за этого день сокращается примерно на 0,5–0,6 миллисекунды за век, и именно из-за этого удлинение суток составляет не 2,3, а всего 1,7 миллисекунды каждые 100 лет.

В долгосрочной перспективе Земля под влиянием Луны может замедлиться настолько, что одна её сторона будет постоянно повёрнута к Луне, как сегодня одна сторона Луны повёрнута к Земле. Если это произойдёт, то на одной половине Земли Луна останется видимой, а на другой исчезнет. Расчёты показали, что такое событие станет возможным, когда Земля замедлится настолько, что будет поворачиваться вокруг своей оси всего один раз за 47 современных дней.

Для достижения такого результата Земля должна замедлять своё движение более десяти миллиардов лет. К этому моменту запасы водорода в солнечном ядре иссякнут, Солнце превратится в красного гиганта и либо сожжёт, либо поглотит и Луну, и Землю. Так что Земля, в отличие от Луны, никогда не окажется зафиксированной в такой позиции. Ей просто не хватит на это времени. Тем не менее в космосе есть другие системы, в которых подобное произошло. Вращающиеся одна напротив другой бинарные звёзды влияют друг на друга именно таким образом и всегда обращены друг к другу только одной стороной. Есть и более близкий нам пример — Плутон и его спутник Харон, зафиксированные именно так.

Луна: попытка к бегству

Приливное влияние Луны на Землю замедляет движение нашей планеты, уменьшая её вращательный момент. Существует фундаментальный принцип физики, называемый *сохранением количества движения при вращении*, согласно которому вращательный момент изолированной (замкнутой) системы никогда не меняется. Значит, если вращательный момент Земли уменьшается, вращательный момент другого элемента системы должен компенсировать это, увеличившись. В нашем случае вариант только один — Луна.

Притяжение Луны создаёт два приливных бугра с двух сторон Земли, но тот, который возникает на той же стороне, что и Луна, притягивает её с наибольшей силой. Как мы уже знаем, этот приливный бугор обычно обгоняет Луну на её орбите, потому что Земля делает оборот вокруг своей оси быстрее, чем её обходит Луна. Поэтому гравитация Земли тащит Луну вперёд по её орбите, придавая ей ускорение.

Обратите внимание, что сила притяжения Земли на расстоянии до Луны имеет именно такое значение, какое необходимо, чтобы изогнуть траекторию тела, движущегося с лунной скоростью, и придать ей форму замкнутой орбиты, которую мы и наблюдаем. Соответственно, если Луна будет двигаться слишком быстро, её скорость превысит необходимую и она вылетит за орбиту. В отношении Земли «за орбиту» означает вверх, а мы знаем, что, если подбросить тело (к примеру, мяч) вверх, гравитация замедлит его полёт. Парадоксальным образом Луна, ускоренная приливным взаимодействием с Землёй, движется медленнее при удалении от Земли. Из-за этого вращательный момент увеличивается до необходимого значения.^[77]

И это не просто теоретические рассуждения. Пилотируемые американские космические корабли «Аполлон-11», «Аполлон-14» и «Аполлон-15», а также беспилотные советские аппараты «Луноход-1» и «Луноход-2» оставили на лунной поверхности рефлекторы. Эти зеркала размером с кулак называют ещё угловыми отражателями, и они умеют отражать свет ровно в том направлении, откуда он исходит. То есть можно направить лазерный луч на Луну, чтобы он отразился от углового отражателя, а затем измерить время его возврата на Землю. Зная скорость света, можно легко рассчитать расстояние до Луны.^[78]

Эксперименты показывают, что каждый год расстояние, которое проходит отражённый от Луны луч, увеличивается на 3,8 сантиметра.^[79] Иными словами, каждые 12 месяцев Луна отдаляется от Земли на расстояние, примерно равное длине большого пальца руки. Если вам 70

лет, за вашу жизнь она прошла путь, равный длине автомобиля.

Наблюдение полных затмений

Тот факт, что каждый год Луна удаляется от Земли на 3,8 сантиметра, означает, что когда-то она была гораздо ближе к нам. А это, в свою очередь, влияло на возникновение полных затмений — одного из самых потрясающих природных явлений.

Как мы уже знаем, полное затмение наступает, когда Луна проходит между Землёй и Солнцем, закрывая солнечный диск и отбрасывая тень на Землю. Полное затмение возможно потому, что Солнце, хотя оно и больше Луны в 400 раз, находится от нас в 400 раз дальше. Вот почему Солнце и Луна кажутся нам на небе равными по размеру. Для нас это очень удачное обстоятельство. Несмотря на то что в Солнечной системе существует более 170 лун, ни с одной планеты невозможно наблюдать полное затмение. Более того, нам повезло не только с местом, но и со временем.

Поскольку Луна отдаляется от Земли, в прошлом она казалась больше, а в будущем будет становиться меньше. Судя по всему, первые полные затмения начались около 150 миллионов лет назад, а ещё через 150 миллионов лет их не будет вовсе. Наблюдать полные затмения жители Земли могут только в течение небольшого срока её существования. К примеру, во времена динозавров их ещё не было.

Тот факт, что Луна удаляется от Земли, а в прошлом располагалась ближе к ней, прекрасно сочетается с теорией о её происхождении.

Планета, которая преследовала Землю

Луна слишком велика по отношению к Земле, а её диаметр равен примерно четверти диаметра нашей планеты. Все прочие луны в Солнечной системе кажутся крошечными рядом со своими планетами. Кроме Плутона, луна которого ещё больше по отношению к его размерам, но с 2006 года Плутон перестал считаться планетой.

Такой размер Луны намекает нам, что и происхождение у неё было необычным. Учёные предполагают, что 4,55 миллиарда лет назад, когда наша планета только сформировалась, она столкнулась с небесным телом массой, примерно равной массе Марса (сегодня эту гипотетическую планету называют Тейей). Внутренние слои Земли превратились в жидкость, а часть её мантии выплеснулась в вакуум. Вокруг нашей планеты

образовалось кольцо, похожее на те, которые опоясывают газовые гиганты в Солнечной системе. Из этого кольца быстро сформировалась Луна, орбита которой в то время находилась в десять раз ближе к Земле. После этого Луна начала постепенно отдаляться от нашей планеты.

Подтверждение теории Большого всплеска было найдено в ходе американской космической программы «Аполлон», благодаря которой мы знаем, что состав Луны схож с составом внешней мантии Земли. Кроме того, лунные породы содержат куда меньше воды, чем самые сухие земные скалы. Это подтверждает, что когда-то они подверглись воздействию высоких температур. Вопрос только вот в чём: чтобы тело с массой Марса не разрушило всю нашу планету, а всего лишь создало Луну, оно должно было пройти по касательной к Земле на очень небольшой скорости. Однако все космические тела, движущиеся по орбитам вокруг Солнца (как в пределах земной орбиты, так и вне её), слишком быстры для этого.

Теория Большого всплеска будет работать только в том случае, если Тейя когда-то находилась на той же орбите, что и Луна. Она могла сформироваться из обломков в стабильной точке Лагранжа, то есть в 60 градусах перед Землёй или за ней на орбите вокруг Солнца.^[80] Сегодня такие же обломки астероидов движутся по орбите Юпитера в 60 градусах перед ним и за ним, так что Юпитер кажется плывущим в Саргассовом море. Если верить теории Большого всплеска, Тейя миллионы лет преследовала Землю, а затем перешла на другую орбиту, что и вызвало столкновение.

Поскольку сила притяжения тела ослабевает с квадратом расстояния от него, приливные силы, которые объясняются разницей в притяжении, уменьшаются с кубом расстояния. Недавно сформировавшаяся Луна находилась примерно в десять раз ближе к Земле, чем сейчас, а значит, приливная сила, с которой она влияла на Землю, была в $10^3 = 1000$ раз больше, чем сейчас. В то время Земля ещё не имела океанов, но если бы они были, воды в них дважды в день поднимались бы не на пару метров, а на километры.

Но не только новорождённая Луна влияла на Землю. Сама Земля тоже воздействовала на неё с приливной силой, увеличенной в 1000 раз. Торможение движения Луны было таким сильным, что, вероятнее всего, она зафиксировалась в нём достаточно рано (примерно в течение десяти миллионов лет после своего формирования). Так как первые микроорганизмы на Земле появились гораздо позже, примерно 3,8–4 миллиарда лет назад, ни одно живое существо не наблюдало обратную

сторону Луны, вращающейся в ночном небе.

Луна не всегда двигалась с такой скоростью

Возникает интересный вопрос: всегда ли Луна отдалялась от Земли со скоростью 3,8 сантиметра в год? В 2013 году группа учёных во главе с Мэттью Хубером из Университета Пердью (Уэст-Лафайетт, Индиана) выяснила, как эта ситуация выглядела 50 миллионов лет назад. Они ввели данные о глубине океанов и очертаниях существовавших в то время континентов в компьютерный симулятор приливов и на основании его показателей сделали вывод, что в то время Луна удалялась от Земли медленнее, скорее всего, в два раза.^[81]

Всё дело в Атлантическом океане, который сегодня достаточно широк, чтобы сформировать большой приливный горб, влияющий на Луну и заставляющий её отступать достаточно быстро; 50 миллионов лет назад океан ещё не принял свою сегодняшнюю форму, поэтому его приливный горб был меньше, а влияние на движение Луны — слабее. В то время за большую часть приливного воздействия отвечал Тихий океан.

Данный пример — ещё одна иллюстрация того, как сложна система приливов и отливов. Их высота и сила, с которой они тормозят движение Земли и ускоряют отступление Луны, зависят от того, насколько легко приливные горбы могут двигаться по океанским просторам. Это, в свою очередь, обуславливается расположением континентов, которое постоянно изменяется из-за континентального дрейфа (тектоники плит, как он официально называется).

Из-за того что предсказать движение плит в долгосрочной перспективе невозможно, мы также не можем знать, когда вращение Земли замедлится настолько, чтобы она оказалась навсегда повернута одной стороной к Луне. Мы знаем лишь одно: для того чтобы Земля начала делать полный оборот вокруг своей оси за 47 дней, а Луна отошла от неё настолько далеко, что её орбитальный путь тоже занимал бы 47 дней, должно пройти не менее десяти миллиардов лет. Мы уже знаем, что это совершенно гипотетический сценарий, потому что к этому времени Солнце превратится в ужасающий красный гигант, светящий в 10 000 раз ярче, чем сегодня, и уничтожит (или по крайней мере существенно изменит) систему Земля–Луна.

У приливов и отливов есть и ещё одно свойство. Каждый день, когда волны накатывают на побережье, а потом возвращаются в море, они подхватывают множество маленьких камешков. Трение между камнями,

которые постоянно сталкиваются друг с другом, генерирует тепловую энергию, поглощаемую окружающей средой. Именно такая потеря энергии в конечном итоге приводит к замедлению вращения Земли.

Приливы нагревают Землю незначительно, и если вы отправитесь купаться в море, ни песок, ни камни не обожгут вам ноги. Но в Солнечной системе есть одно место, где приливы генерируют куда больше тепловой энергии. Это Ио, гигантский спутник Юпитера, открытый Галилеем в 1609 году.

Лунная пицца

Восьмое марта 1979 года. Космический зонд NASA «Вояджер-1» пролетает через систему Юпитера быстрее пули, спеша на встречу с Сатурном в 1980 году. Но перед тем, как зонд навсегда покинет газовый гигант, управляющая команда заставляет его развернуть камеру назад и сделать прощальный снимок Ио. Навигационный инженер Линда Морабито первой видит изображение, преодолевшее расстояние 640 миллионов километров до Центра управления полётами, и у неё перехватывает дух. Из крошечной, видной лишь наполовину луны вырывается столб фосфоресцирующего газа.

Морабито первой за всю историю человечества увидела супервулканы Ио. На следующий день вся команда по управлению «Вояджером» склонилась над увеличенными фотографиями и данными измерения температур. Они обнаружили восемь гигантских столбов газа, выбрасывающих материю вверх на сотни километров. Оказалось, что Ио — самое геологически активное космическое тело в Солнечной системе, на котором располагаются более 400 вулканов. Отверстия, через которые на поверхность Ио выбрасываются оранжевая, жёлтая и коричневая породы, делаая её похожей на пиццу, напоминают гейзеры в Йеллоустоунском парке. В некотором смысле вулканы Ио — это действительно гейзеры. Лава в них не вырывается на поверхность, но нагревает жидкий диоксид серы, расположенный прямо под корой Ио, и тот превращается в газ. Затем газ выбрасывается вверх точно так же, как пар в земном гейзере.

Каждый год Ио выбрасывает в вакуум около 10 000 миллионов тонн вещества, которое затем опадает на поверхность, покрывая её серой, как землю вокруг гейзеров в Йеллоустоуне. Вот почему на фотографиях Ио выглядит как гигантская пицца. Яркие цвета — это всего лишь слои серы, имеющие разную температуру.

Ключом к пониманию супервулканов Ио является Юпитер, в 318 раз превышающий по массе Землю. Ио находится от него на том же расстоянии, что Луна от Земли. Но из-за огромной силы притяжения Юпитера Ио обращается вокруг него не за 27 дней, как наша Луна, а всего за 1,7 дня. Гравитация, воздействующая на приливные горбы Ио, уже давно остановила её вращение, так что теперь луна постоянно повёрнута к своей планете одной стороной. Только представьте, какой вид откроется перед людьми, если космический корабль когда-нибудь сядет на поверхность Ио: Юпитер и его разноцветные облачные кольца будут занимать четверть неба.

Так как Ио зафиксирована в одном положении, два приливных горба, возникших под влиянием притяжения Юпитера, будут направлены прямо на него и прямо от него. Они не будут двигаться в камне, как земные приливные горбы движутся в океанах. Если бы на Ио происходило что-то подобное, твёрдые породы постоянно растягивались бы и сжимались, постепенно нагреваясь из-за трения (точно так же нагревается резиновый мяч, который вы сжимаете в руке). Раз этого не происходит, логично предположить, что температура Ио не растёт под приливным влиянием Юпитера.

Но это не так.

Ключевую роль в нагревании Ио играют две другие открытые Галилеем луны, которые движутся по более удалённым от планеты орбитам, — Европа и Ганимед. Ганимед представляет собой самую большую луну в Солнечной системе и превышает по размерам Меркурий. За то время, которое требуется Ио, чтобы обойти вокруг Юпитера четыре раза, Европа делает это дважды, а Ганимед — один раз. Из-за этого два спутника периодически оказываются выстроенными в одну линию, что усиливает их воздействие на Ио. Они как будто дёргают Ио в сторону, удлиняя её орбиту. Таким образом Ио постоянно перемещается по направлению то к Юпитеру, то от него. Именно это движение и заставляет Ио разогреваться изнутри.

Да, приливные горбы Ио направлены прямо на Юпитер и от него. Но когда Ио подходит близко к своей планете, приливный горб растёт, а когда удаляется — горб уменьшается. Из-за постоянного движения порода то сжимается, то растягивается, и из-за этого процесса Ио разогревается так сильно, что больше всего тепла на один килограмм веса в Солнечной системе выделяет именно она, а вовсе не Солнце. ^[82]

Загадка Плутона и Харона

Пара Юпитер–Ио — не единственная в Солнечной системе, в которой два небесных тела, движущиеся по орбитам вокруг друг друга, оказались зафиксированными в таком положении, что каждому из них видна только одна сторона другого. Существует ещё Плутон и его огромная луна Харон.

Самое интересное в Хароне то, что его диаметр равен половине диаметра Плутона. Благодаря этому Плутон некоторое время считался планетой с самой большой луной (относительно его собственных размеров) в Солнечной системе. Но в 2006 году Международный астрономический союз лишил Плутона статуса планеты и перевёл в разряд карликовых планет. Теперь он всего лишь один из многих десятков тысяч ледяных обломков, вращающихся вокруг Солнца на границе Солнечной системы.

Пояс Койпера состоит из ледяных обломков, оставшихся после появления планет. Из них планета не получилась, потому что они были слишком разреженными. Пояс Койпера похож на внутренний пояс астероидов Солнечной системы — ещё одну свалку планетарного строительного мусора, который не смог сконцентрироваться в одной точке под влиянием силы притяжения Юпитера.

Внутренний край пояса Койпера начинается недалеко от Нептуна (то есть расстояние от него до Солнца примерно в 30 раз больше, чем от Земли), а внешний заканчивается на расстоянии от Солнца в 50 раз большем, чем то, на котором находится Земля. Несмотря на название, первым существование этого пояса предсказал бывший ирландский солдат и астроном-любитель Кеннет Эджворт в 1943 году, так что по справедливости он должен был бы называться поясом Эджворта–Койпера.

Плутон соответствует двум критериям планеты, сформулированным Международным астрономическим союзом в 2006 году: он круглый и движется по орбите вокруг Солнца. Но так как рядом с ним находится множество объектов из пояса Койпера, он не соблюдает третье требование — свободная орбита, на которой нет других небесных тел.

Четырнадцатого июля 2015 года станция NASA «New Horizons» пролетела через систему Плутон–Харон, словно скоростной поезд, пройдя всего в 14 000 километров над небесным телом, которое в момент отправки станции ещё считалось планетой. Сотрудники Центра управления полётами на Земле были поражены. Они ожидали увидеть мёртвый, неподвижный мир, скованный космическим холодом вдали от Солнца. Вместо этого перед ними предстали азотные ледники и горы льда, вершины которых были скрыты в завихрениях тонких облаков. Наиболее удивительным было то, что так называемая область Томбо (розовое пятно на Плутоне, имеющее форму облака и названное в честь первооткрывателя Плутона Клайда

Томбо) не имела ни одного кратера, в отличие от остальной поверхности планеты. Это означало, что лёд здесь образовался сравнительно недавно.

Откуда же берётся энергия для этой необычной активности? Внутренние слои Земли нагреваются за счёт радиоактивности урана, тория и калия, но для того, чтобы разогреть Плутон, этого недостаточно. Нагревание под воздействием приливной силы Харона тоже исключается, так как подобный процесс невозможен в системе, где луна движется по кругу вокруг планеты и оба небесных тела всегда повёрнуты друг к другу одной и той же стороной. Однако это правило работает только в том случае, если Харон оказался на орбите Плутона в момент образования Солнечной системы, примерно тогда же, когда Луна стала спутником Земли. Если же Плутон заполучил свой спутник недавно (в течение последних полумиллиарда лет), то нагрев под воздействием приливных сил имел бы место и продолжался до тех пор, пока Плутон и Харон не оказались бы зафиксированы в текущем положении относительно друг друга. Никто не знает, как всё было на самом деле. Этот вопрос остаётся открытым.

Водные луны

Нагрев под влиянием приливных сил, кроме всего прочего, намекает на возможное зарождение жизни — не на Ио, так как тамошние условия слишком суровы, а на Европе. Европа нагревается за счёт влияния приливных сил Юпитера, Ио и Ганимеда и состоит в основном из льда (в отличие от каменной Ио). Следовательно, внутренняя часть спутника должна была растаять. Где-то на Европе есть жидкая вода.

Тело, содержащее жидкость, вращается не так, как полностью твёрдое. Судя по вращению Европы, под десятикилометровым слоем льда на ней находится океан глубиной 100 километров — самый большой во всей Солнечной системе.

Издалека Европа кажется похожей на шар для боулинга, а её гладкая блестящая поверхность выглядит как огромный каток. Но если посмотреть на неё поближе, можно увидеть огромные трещины во льду. Они создают необычный мозаичный узор, напоминающий тот, который можно увидеть в Северном Ледовитом океане. Летом лёд вскрывается и отдельные льдины пускаются в свободное плавание, а зимой океан замерзает снова. Подобный узор служит ещё одним подтверждением того, что на Европе есть жидкая вода.

Подлёдный океан, куда не проникает ни один луч солнечного света, не

кажется подходящим местом для жизни. Однако открытие, сделанное на Земле в 1977 году, заставило учёных усомниться в этом. Океанограф Боб Баллард с помощью субмарины «Элвин» нашёл на морском дне гидротермальные источники. Они находятся во многих километрах от поверхности океана и выбрасывают в его воды разогретые до высоких температур минералы, поддерживая жизнь экосистемы, живущей в полной темноте. В самом низу пищевой цепочки здесь находятся бактерии, получающие энергию не из кислорода, а из соединений серы, а на её вершине — гигантские трубчатые черви длиной с половину человеческой руки.

Учитывая, что Европа нагревается под влиянием приливной силы, на её дне почти наверняка имеются гидротермальные источники. Это повышает её шансы стать вторым после Земли местом в Солнечной системе, где может быть обнаружена жизнь. В данный момент NASA планирует отправить на Европу зонд, который в идеале должен сесть на её поверхность и пробурить отверстие в десятикилометровом слое льда. Современные технологии пока что не могут справиться с такой задачей, но в 2022 году будет запущена межпланетная станция Jupiter Icy Moon Explorer (JUICE), которая сможет изучить одно необычное явление на Европе.

В 2013 году с помощью космического телескопа «Хаббл» учёные увидели струи воды высотой 200 километров, бьющие из трещин в ледяном панцире Европы. Их источником может быть только подлёдный океан. Учёные из NASA полагают, что, если JUICE сможет пролететь через них и взять образцы жидкости, там могут быть обнаружены инопланетные микроорганизмы.

У Сатурна тоже есть спутник, выбрасывающий в космос струи воды, — Энцелад. Он имеет всего 500 километров в диаметре, и никто не ожидал от него подобной активности. Однако, судя по всему, растяжение и сжатие под воздействием приливных сил расплавили его внутренние слои. Возможно, что на Энцеладе находится самый маленький океан в Солнечной системе, но, как и на Европе, в нём тоже могла возникнуть жизнь.

Тот факт, что луны Юпитера и Сатурна нагреваются под воздействием приливных сил своих планет, может изменить принципы поиска жизни в других частях нашей Галактики. Дело в том, что Юпитер и Сатурн находятся за пределами обитаемой зоны Солнца. Обитаемой считается зона, в которой планеты расположены достаточно близко к своей звезде, чтобы вода на них не замерзала, но и достаточно далеко, чтобы она не

закипела. Юпитер и Сатурн достаточно далеки от Солнца, и поэтому вода, необходимая для развития известных нам форм жизни, на них бы замёрзла. Но, как мы видим на примере Европы и Энцелада, этого не произошло. Судя по всему, вокруг соседних с нами звёзд часто вращаются газовые гиганты, иногда даже превышающие по размерам Юпитер. Возможно, у них есть луны большего диаметра, чем Ио или Европа, которые тоже нагреваются за счёт приливных сил.

Предварение равноденствий

Приливы не единственное последствие влияния гравитации на Землю, так как она не является единой точкой, а занимает некоторое пространство. Ньютон открыл и ещё один эффект гравитации — предварение равноденствий.

Смена времён года на нашей планете происходит потому, что ось вращения Земли наклонена относительно плоскости орбиты, по которой она движется вокруг Солнца. В частности, как мы уже выяснили, ось отклоняется на 23,5 градуса по вертикали, и это означает, что и экватор Земли имеет такой же наклон относительно плоскости её орбитального движения. В Северном полушарии лето наступает, когда Земля поворачивается этим полушарием к Солнцу, а зима — когда полушарие смотрит в другую сторону. То же самое происходит и в Южном полушарии. Соответственно, когда в Северном полушарии зима — в Южном лето и наоборот.

Весна и осень — это промежуточные времена года, но астрономы стремятся к большей точности. По их словам, весна и осень наступают, когда плоскость орбиты Земли (эклиптика) пересекает плоскость экватора. Эти моменты в путешествии нашей планеты вокруг Солнца называют весенним и осенним равноденствием.

Все планеты движутся близко к эклиптике, потому что они возникли из одного и того же плоского кольца космического мусора, которое когда-то вращалось вокруг Солнца. Соответственно, на звёздном небе, которое видно с Земли, они располагаются в одной узкой полосе, о чём нашим предкам было известно ещё с античных времён. Звёзды в этой полосе были сгруппированы в 12 созвездий, соответствующих 12 знакам зодиака. В 2000 году до нашей эры, когда жители Вавилона создавали данную систему, на весеннее солнцестояние приходилось созвездие Овна, однако примерно каждые 2000 лет оно сдвигается на один знак. Во времена Иисуса Христа

оно выпало на знак Рыб, а сегодня переходит в знак Водолея (в котором окажется к 2060 году). Именно это и имеют в виду люди, говорящие о наступлении эры Водолея.

Такое перемещение зодиакальных созвездий по ночному небу называют *предварением равноденствий*. Это третий и самый загадочный тип движения Земли после вращения вокруг своей оси и перемещения по орбите вокруг Солнца. Его открытие приписывают Гиппарху, греку, который жил и работал на острове Родос и которого часто называют величайшим астрономом Античности.

В 129 году до нашей эры, когда Гиппарх составлял свой знаменитый звёздный каталог, он обратил внимание на кое-что необычное. Положение звёзд на небе не соответствовало измерениям, сделанным древними вавилонянами. Казалось, будто все звёзды изменили своё местоположение и сделали это согласно какому-то порядку. Гиппарх предположил, что с места сдвинулись не звёзды, а сама Земля.

Используя записи вавилонских коллег, Гиппарх точно рассчитал скорость, с которой двигались звёзды. Судя по всему, земная ось каждые 72 года изменяла своё положение в пространстве примерно на один градус. Из-за этой прецессии ось вращения нашей планеты (всё ещё наклонённая на 23,5 градуса) раз в 26 000 лет поворачивается по вертикали. Звезда, находящаяся сейчас прямо над Северным полюсом, отличается от той, которую наблюдали древние египтяне. Мы видим Полярную звезду из созвездия Малой Медведицы, а 5000 лет назад жители Египта видели на её месте звезду Тубан из созвездия Дракона.

Именно прецессия объясняет предварение равноденствий, однако никому из учёных прошлого это не приходило в голову. Никому до Ньютона.

Ньютон понял, что форма Земли изменяется не только под влиянием притяжения Солнца и Луны, но и из-за её собственного вращения. Тела на экваторе перемещаются со скоростью около 1670 километров в час. Гравитация Земли не обеспечивает достаточной центростремительной силы, чтобы удерживать всю эту материю на месте, и она разбегается. Сегодня Земля вытянута в сторону от идеально шарообразной формы на 23 километра.

Ньютон понял, что притяжение Солнца и Луны, с которыми они влияют на этот «экваториальный горб», заставляет вращающуюся Землю дрожать, как юлу. Она вращается по кругу в том направлении, в котором смотрит её ось. Приняв во внимание силы, действующие на Землю, Ньютон подсчитал, что прецессия должна занять 26 000 лет. Точно такое же

значение приводили и его античные коллеги.

Закон всемирного тяготения стал источником постоянных сюрпризов. Оказалось, воздействие гравитации имеет множество последствий, и я ещё не рассказал вам обо всех.

При формулировании закона обратных квадратов Ньютон рассматривал Солнце и планеты как точки, обладающие массой. По его мнению, Земля влияет на Луну, как если бы каждая из них была лишь точкой с заданной массой. Но и Земля, и Луна имеют большую площадь, и именно это является основанием для таких явлений, как приливы и предварение равноденствий.

Ньютон сделал ещё одно допущение: он предположил, что на Землю воздействует только Солнце, а на Луну — только Земля. В случае с приливами мы видим, что это не так, ведь влияние на Землю оказывают и Луна, и Солнце. Так часто происходит в природе: на одно тело одновременно воздействуют несколько. Такое влияние приводит к тому, что космические тела вроде планет не всегда движутся ровно по эллиптическим орбитам. Кроме того, зная это, мы можем предугадать существование ещё не известных нам тел, основываясь на хаотическом движении известных.

Для дополнительного чтения

The Severn Bore: A natural wonder of the world (<https://www.severn-bore.co.uk>).

Ekman M. A concise history of the theories of tides, precession-nutation and polar motion (from antiquity to 1950) // *Surveys in Geophysics*. — 1993. — Vol. 14. — Issue 6. — P. 585–617 (<http://www.afhalifax.ca/magazine/wp-content/sciences/vignettes/supernova/nature/MAREES/HistoireMarees.pdf>).

Shu F. The Physical Universe. — Mill Valley: University Science Books, 1982.

Simanek D. Tidal Misconceptions. — 2003 (<https://www.lockhaven.edu/~dsimanek/scenario/tides.htm>).

4. Карта невидимого мира

Как закон всемирного тяготения Ньютона не только объясняет видимое, но и открывает нам невидимое.

Законы Кеплера пускай и не полностью верны, но достаточно близки к истине, чтобы привести к открытию закона о притяжении тел в Солнечной системе. Их неточность объясняется тем, что планеты также имеют массу, а потому влияют на орбиты друг друга.

Исаак Ньютон^[83]

Сорви цветок на Земле — и ты сдвинешь с места дальнюю звезду.

Поль Дирак^[84]

Поиски продолжались уже почти целый час, и все действия их участников стали автоматическими. Иоганн Галле всматривался через огромный медный телескоп-рефрактор в небо над Берлином, поворачивая ручки настройки до тех пор, пока в перекрестье не появлялась звезда, а затем выкрикивал её координаты. Его молодой ассистент Генрих Д'Арре, сидевший за деревянным столом в другом конце помещения под куполом обсерватории, просматривал карту звёздного неба, освещённую масляной лампой, и кричал в ответ: «Эта звезда нам известна». Галле снова принимался крутить ручки, направляя телескоп на следующую звезду. Из-за холодного ночного воздуха у него уже побаливала шея, и он начинал сомневаться в успехе предприятия.

Галле и Д'Арре находились в Королевской обсерватории в Берлине из-за необычного письма, которое они получили днём. Оно было подписано Урбенom Леверье, математиком и астрономом из парижской Политехнической школы. За год до этого Галле отправил Леверье копию своей научной работы, но ответа не получил. Теперь Леверье, очевидно, жалел об этом, ведь ему требовалась помощь прусских коллег. Поэтому

текст письма был полон запоздалых благодарностей.

Галле мог бы отомстить коллеге, сказав, что его письмо случайно затерялось в куче бумаг у него на столе. Судя по всему, астрономы из Парижской обсерватории так и поступили, иначе зачем Леверье было писать в Берлин? Но Галле был выше этого, а кроме того, услуга, о которой просил Леверье, заинтересовала его. Леверье просил коллегу с помощью знаменитого телескопа Фраунгофера, установленного в Берлинской обсерватории, посмотреть на область между созвездиями Козерога и Водолея и поискать там объекты, которых нет на картах звёздного неба.

Директор обсерватории Иоганн Франц Энке считал это задание просто потерей времени. Но в ту ночь он собирался праздновать свой 55-й день рождения, а не пользоваться рефрактором, поэтому решил, что вреда не будет, и разрешил Галле выполнить странную просьбу Леверье. Галле быстро привлёк к делу студента-астронома Д'Арре. Вот так эти двое оказались в одной обсерватории ночью 24 сентября 1846 года, рассматривая небо в огромный механический телескоп Фраунгофера, самый точный астрономический инструмент того времени во всём мире.

Они начали поиски в полночь, когда на улицах Берлина погасли газовые фонари и город погрузился во мрак. Сейчас был уже почти час ночи. Галле навёл перекрестье телескопа на очередную звезду и выкрикнул её координаты. Ожидая ответа Д'Арре, он мечтал поскорее отправиться домой, к жене и тёплой постели. Но Д'Арре молчал. Чем, интересно знать, он там занимается?

Галле вырвал из размышлений грохот упавшего стула. Оторвавшись от окуляра, он увидел силуэт своего помощника в свете масляной лампы. Д'Арре бежал к нему, размахивая картой звёздного неба, как обезумевшая птица. Было слишком темно, чтобы разглядеть лицо Д'Арре, но Галле на всю жизнь запомнил его слова в тот миг: «Этой звезды нет на карте!».

Тщетно пытаясь успокоиться, чтобы их руки не дрожали, двое учёных ещё раз навели телескоп на неизвестное небесное тело. Сомнений не было — такой объект отсутствовал на карте звёздного неба. И не без оснований, ведь это была не звезда. Звёзды на их огромных расстояниях от Земли обычно выглядят как крошечные точки, и даже приближение с помощью телескопа не даёт рассмотреть их как следует. Но этот объект выглядел не точкой, а крошечным сияющим диском.

Это была планета, неизвестная планета. Со времён появления Земли она двигалась по своей орбите вокруг Солнца на периферии нашей системы, в полной темноте, и до этого момента никто не имел о ней представления. В тот момент у неё ещё не было имени, а о её

существовании знали всего два человека. Но очень скоро всё человечество будет знать её под названием Нептун.

Растяжение во все стороны

То, что Д'Арре и Галле обнаружили новую планету, кажется невероятным событием, почти чудом. Коллега из Парижа написал Галле и попросил начать поиски нового мира, дав очень чёткие инструкции на этот счёт. Заинтригованный, но не очень-то верящий в успех Галле выполнил эти указания. Всего час работы — и он уже видит в телескоп совершенно новую планету, которая находится ровно на том месте, про которое говорил Леверье. Это был триумф астрономии, триумф предсказательной науки, но самое главное — триумф Исаака Ньютона и теории, которую он разработал почти за два века до этого. ^[85]

Чтобы закон всемирного тяготения можно было использовать для предсказания различных явлений, Ньютон делал некоторые допущения. Как мы уже говорили выше, при расчёте воздействия Земли на Луну он представлял себе нашу планету так, как если бы вся её масса была сконцентрирована в одной точке в её центре. На самом деле, разумеется, Земля имеет большую площадь, и из-за разницы в воздействии Луны на разные её части форма Земли изменяется, что приводит к появлению приливов. Но предположение о Земле как об одной точке — это не единственное допущение, сделанное Ньютоном. Он также предположил, что на планеты распространяется лишь притяжение Солнца. Благодаря такому допущению он смог доказать, что, если планета движется под воздействием силы, которая ослабевает с квадратом расстояния (то есть в соответствии с законом обратных квадратов), её орбита имеет форму эллипса, как и предсказал Кеплер.

Но главная характеристика гравитации состоит в её универсальности. Это означает, что даже самые крохотные клочки материи воздействуют друг на друга с помощью силы тяготения. Следовательно, планета подчиняется влиянию не только Солнца, но и остальных планет. Возьмём в качестве примера Землю. Максимальное гравитационное воздействие на неё оказывают Юпитер (самая большая планета в Солнечной системе, масса которой равна примерно 1/1000 массы Солнца) и Венера, находящаяся рядом с нашей планетой. Их влияние различается в разные временные периоды, потому что Юпитер движется по орбите вокруг Солнца медленнее Земли, а Венера — быстрее. Но когда Юпитер находится

на минимальном расстоянии от нашей планеты, его сила притяжения составляет 1/16 000 силы притяжения Солнца. Когда же расстояние между Венерой и Землёй максимально сокращается, сила притяжения Венеры становится примерно в полтора раза меньше этой цифры.

Поскольку гравитационное воздействие планет Солнечной системы друг на друга значительно меньше, чем влияние Солнца, Ньютон в своих расчётах планеты не учитывал. Но, строго говоря, планета размером с Землю движется под влиянием множества других небесных тел. В результате её орбита вокруг Солнца не является идеальным эллипсом. Первый закон Кеплера верен лишь приблизительно. Гравитационные силы, воздействующие на планету, постепенно изменяют её ориентацию в космосе, и участок орбиты, максимально приближённый к Солнцу, постоянно изменяется.

Давайте представим, будто мы ничего не знаем о существовании в Солнечной системе других планет. Если мы будем долго наблюдать за орбитой Земли, мы заметим, что она немного отклоняется от формы идеального эллипса. Обдумав эту ситуацию, мы придём к выводу, что в космосе существуют и другие массивные объекты, «дёргающие» нашу планету, когда она проходит мимо них, как дети, которые дёргают мать за пальто, чтобы она не шла слишком быстро. Применив огромные компьютерные мощности и приложив массу интеллектуальных усилий (это очень сложные вычисления), мы поймём, что гравитационное воздействие на Землю оказывают ещё семь планет, каждая из которых имеет свою массу и движется по своей орбите вокруг Солнца.^[86]

Закон всемирного тяготения Ньютона помог нам составить карту невидимого мира. Именно этот принцип использовал Леверье, чтобы исследовать рубежи Солнечной системы и вычислить местоположение восьмой планеты, Нептуна. И всё это из-за того, что одна из планет не двигалась по идеально эллиптической орбите.

Планета по имени Георг

Уран был открыт Уильямом Гершелем, бывшим музыкантом родом из Германии. В 1757 году 19-летний Уильям и его сестра Каролина переехали в Бат, английский город, основанный римлянами на месте, где бьют термальные источники.^[87] Гершель работал церковным органистом, но его страстью была астрономия. В саду у своего дома он построил один из лучших телескопов того времени; 13 марта 1781 года он рассматривал в

него звёздное небо и заметил странную размытую звезду. Сначала Гершель решил, что это комета, но в последующие несколько ночей она переместилась в созвездие Близнецов. Учёный понял, что она движется не по удлинённой орбите кометы, а по планетарной орбите, больше напоминающей окружность.

Открытие новой планеты стало международной сенсацией. С момента зарождения науки людям были известны лишь шесть планет. Теперь же их оказалось семь.

Гершель был иммигрантом и хотел признания в своей новой стране. Поэтому он окрестил планету звездой Георга в честь короля Георга III. Это очень разозлило французских астрономов, которые были против именования небесного тела в честь английского короля. Вместо этого они стали называть её Гершелем. Миротворцами в этом споре выступили, как ни удивительно, немцы. Астроном Иоганн Боде предложил дать новой планете имя в честь Урана, отца римского бога Сатурна, и эта идея прижилась. Только представьте себе, как выглядел бы перечень планет в Солнечной системе, если бы этого не произошло: Меркурий, Венера, Земля, Марс, Юпитер, Сатурн... и *Георг*.

Почти за век до открытия Урана его наблюдал английский астроном Джон Флемстид. В 1690 году он ошибочно занёс Уран в свой каталог как 34-ю звезду в созвездии Тельца. Благодаря записям Флемстида и его коллег, подкреплённым более поздними наблюдениями, к началу XIX века орбита Урана уже была известна учёным настолько хорошо, что её можно было сравнить с предсказанной на основании закона всемирного тяготения Ньютона.

Вот тут-то и начались загадки.

Факт наличия эллиптической орбиты не соответствовал результатам наблюдений. Как только она была рассчитана, Уран тут же начал отклоняться от неё. Шли годы, наблюдений становилось всё больше, а Уран отклонялся всё сильнее.

Лишь немногие сомневались в законе всемирного тяготения Ньютона. Его успех за последние два столетия был таким всеобъемлющим и масштабным, что его считали чем-то вроде Священного Писания. Учёные предположили, что за Ураном может находиться ещё одна планета, чья гравитация и сбивает Уран с правильного эллиптического пути.

Охота на невидимую планету

В 1841 году Джон Кауч Адамс, математический гений из Корнуолла, Англия, решил вычислить, где именно в Солнечной системе должна находиться новая планета, чтобы она могла оказывать наблюдаемое воздействие на Уран.^[88] Его расчёты были ужасающе сложными, но уже через четыре года он был готов представить результаты своего труда королевскому астроному Джеймсу Челлису. Тот, однако, не принял Адамса всерьёз. Помимо прочего, доверие к нему подрывала его привычка постоянно уточнять свои расчёты и то и дело менять предсказания относительно местоположения новой планеты.

Адамс не знал, что в то же самое время во Франции Леверье проводил похожие вычисления. Чтобы упростить пугающе сложные расчёты, Леверье сделал несколько обоснованных допущений. Например, он предположил, что новая планета должна находиться далеко от Солнца, иначе астрономы уже заметили бы её. Он также решил, что её масса должна быть сравнима с массой Урана, который по этому показателю примерно в 15 раз превышает Землю. Наконец, Леверье решил, что невидимая планета должна двигаться по орбите вокруг Солнца в той же плоскости, что и другие планеты.^[89]

Удивительно, но Леверье, как и Адамса, не принимали всерьёз. Директор Парижской обсерватории Франсуа Араго не считал поиски новой планеты первоочередной задачей. Когда Леверье понял, что не добьётся от Араго точных сроков для выполнения своей задачи, он потерял терпение и 18 сентября 1846 года отослал свои расчёты, указывающие на примерное местонахождение планеты, в Берлин. Ещё через пять дней Иоганн Галле, единственный человек, поверивший Леверье, вошёл в историю как первооткрыватель Нептуна.

Как и Уран, Нептун наблюдался и ранее, но его не принимали за планету. Его едва можно разглядеть невооружённым глазом. Существуют некоторые свидетельства того, что уже в декабре 1612 года в Падуе Галилей видел Нептун в свой недавно созданный телескоп, но посчитал его просто звездой.

После обнаружения Нептуна между Англией и Францией разгорелся спор о том, кого именно считать его первооткрывателем. Интересно, что этот спор никак не повлиял на отношения между самими Адамсом и Леверье, хотя последнего многие считали заносчивым и агрессивным человеком. После первой же встречи они стали друзьями — возможно, из уважения к математическим талантам друг друга, а возможно, из-за усилий, которые обоим пришлось приложить, чтобы им поверили. Сегодня

открытие Нептуна приписывают Адамсу и Леверье в равной степени.

Обнаружение Урана было настоящей сенсацией. Это была первая планета, открытая в эру телескопов и науки. Расстояние от Урана до Солнца в два раза больше, чем от Солнца до Сатурна, а значит, всего за один день размеры известной человечеству Солнечной системы увеличились вдвое. Открытие Нептуна также было сенсационным, но в несколько другом смысле. Если Уран был замечен астрономами случайно, существование Нептуна, включая его массу, внешний вид и местоположение, было точно предсказано. Наука наделила человека возможностями божества. Закон Ньютона теперь не только объяснял то, что мы видим, но и предсказывал невидимое.

И в XXI веке эта история может повториться.

Девятая планета

В начале 2016 года два астронома из США поразили весь научный мир, заявив, что вокруг Солнца по удалённой орбите обращается ещё одна, ранее не известная планета, масса которой в десять раз превышает земную. До тех пор пока ей не найдут имени получше, Константин Батыгин и Майк Браун из Калифорнийского технологического института в Пасадине предложили называть её просто девятой планетой. До 2006 года девятой планетой был Плутон, но затем его понизили в должности до статуса карликовой планеты.^[90]

Доказательства, которые привели Батыгин и Браун, касаются не аномального движения других планет, а странного поведения объектов в поясе Койпера. Как мы уже упоминали, этот пояс состоит из десятков тысяч ледяных обломков, оставшихся после создания планет и вращающихся вокруг Солнца за орбитой Нептуна.^[91] Батыгин и Браун отметили, что шесть самых далёких объектов пояса Койпера имеют очень вытянутые орбиты, которые не растянуты в разные стороны, как можно было бы предположить, а вместо этого направлены примерно в одну точку. Кроме того, они имеют одинаковое отклонение (примерно 30 градусов) от плоскости, в которой движутся остальные восемь планет. Если верить Батыгину и Брауну, эти аномалии объясняются гравитационным воздействием далёкой невидимой планеты.^[92]

Данная планета должна быть не только огромной, но и очень далёкой — расстояние от неё до Солнца должно в 20 раз превышать расстояние между Солнцем и Нептуном. Батыгин и Браун предполагают, что девятая

планета движется по крайне вытянутой орбите, то приближаясь к Солнцу на расстояние, равное семи расстояниям до Нептуна, то удаляясь на дистанцию, превышающую расстояние до Нептуна в 30 раз. Из-за такой длинной орбиты она делает полный оборот вокруг Солнца не раз в 165 лет, как Нептун, а раз в 15 000 лет.

Девятая планета могла сформироваться вместе с остальными планетами 4,55 миллиарда лет назад, а затем отлететь на дальнюю орбиту после столкновения с зародышем одного из гигантов Солнечной системы (Юпитера или Сатурна). Кроме того, есть вероятность, что раньше она обращалась вокруг другой звезды. В «звёздной колыбели», где родилось наше Солнце, появились на свет и сотни других звёзд, располагавшихся на близком расстоянии друг от друга, и вполне возможно, что, когда две такие звёзды встречались, они обменивались планетами. Тот факт, что в Солнечной системе может существовать ранее неизвестная планета, напоминает нам, что жизнь порой оказывается удивительнее научной фантастики.

Учитывая расстояние между девятой планетой и Солнцем, она, скорее всего, почти не отражает солнечный свет, и поэтому её сложно разглядеть даже в самый большой телескоп. Но в те моменты, когда она подходила к Солнцу максимально близко, она должна была быть видна и занесена на карты звёздного неба. Когда же она находится на наибольшем удалении от Солнца, для того, чтобы рассмотреть её, нужен крупнейший телескоп на Земле, например пара десятиметровых телескопов в обсерватории Кек, Мауна-Кеа, Гавайи. Есть и ещё один способ. По предположениям учёных, диаметр девятой планеты в 3,7 раза превышает земной, а температура на поверхности составляет -226 градусов Цельсия. Соответственно, её можно засечь с помощью инфракрасного телескопа, чувствительного к тепловым волнам.

Если девятая планета действительно существует, это делает нашу Солнечную систему похожей на ещё примерно 2000 планетарных систем, вращающихся вокруг других звёзд. Типичная планета в такой системе имеет массу от 1 до 17 земных. Если подобная Суперземля когда-то существовала, но затем была вытолкнута за пояс Койпера, это объясняет отличие Солнечной системы от её звёздных собратьев.

По иронии судьбы Браун сыграл важную роль в понижении Плутона до статуса карликовой планеты. В 2005 году он открыл Эрис, удалённое от Солнца ледяное небесное тело, примерно равное по размерам Плутону. Это открытие показало, что Плутон, который с 1930 года считался самой далёкой планетой Солнечной системы, — на самом деле не что иное, как

крупнейший объект из множества в поясе Койпера. Возможно, предлагая новое небесное тело взамен Плутона, Браун пытается извиниться за то, что «уничтожил» целую планету.

Разумеется, может оказаться, что никакой девятой планеты на самом деле нет. Некоторые астрономы всё ещё скептически относятся к этому предположению. Как бы там ни было, закон всемирного тяготения Ньютона до сих пор помогает нам видеть невидимое.

Экзопланеты

На сегодняшний день нам известно несколько тысяч планет, вращающихся вокруг других звёзд. При этом лишь малую долю из них астрономы действительно видели. Существование большей части было рассчитано, исходя из их воздействия на свои солнца. Всё снова сводится к закону всемирного тяготения Ньютона. Солнце притягивает планету с той же силой, что и планета — солнце. Разумеется, звезда имеет существенно бóльшую массу и сдвинуть с места её труднее. Тем не менее некоторое движение всё же происходит.

Строго говоря, планеты не вращаются вокруг неподвижного солнца. Это всего лишь одно из допущений, сделанных Ньютоном для более удобной системы расчётов. На самом деле и планета, и её солнце движутся вокруг их общего центра массы. Так как масса солнца куда больше, чем масса планеты, этот центр располагается ближе к центру звезды (обычно внутри неё).^[93] Пока планета перемещается вокруг него по большой орбите, солнце движется по крошечной.

Можно описать это движение и другим способом: находясь в одной части орбиты, планета тянет своё солнце на себя, а перейдя на другую половину орбиты, начинает тянуть в противоположном направлении. Из-за этого звезда подрагивает, и, используя высокочувствительные приборы, учёные на Земле могут засечь эти колебания. Вы наверняка заметили, что частота или тональность сирены повышаются, когда полицейская машина приближается к вам, и понижаются, когда она отдаляется. Точно так же и частота света, выделяемого звездой, повышается или понижается в зависимости от того, движется эта звезда в сторону Земли или от неё. Измерив величину доплеровского смещения для атомов самых распространённых элементов, например водорода, астрономы могут рассчитать скорость звезды при приближении или удалении от нашей планеты.

В тех случаях, когда на звезду действует гравитация планеты, максимальная скорость колебания составляет несколько метров в секунду для планет размером с Юпитер и всего десятков сантиметров в секунду для небесных тел, схожих по размерам с Землёй. Иными словами, шар раскалённого газа, зачастую имеющий в диаметре более миллиона километров, перемещается в нашем направлении со скоростью бегущего человека, а от нас — со скоростью черепахи. Это кажется невероятной технической задачей, но астрономы могут измерять такие скорости, используя высокочувствительные спектрографы. Именно так мы узнаём о существовании невидимых планет.^[94] Только в середине 1990-х их было открыто более 2000, а прямо сейчас учёные занимаются поисками второй Земли.^[95]

Самый яркий пример того, как с помощью закона всемирного тяготения Ньютона мы можем увидеть невидимое, относится не к звёздам и планетам, а к более крупным объектам во Вселенной. В конце XX века учёные, к своему изумлению, обнаружили, что звёзды и галактики, которые раньше считались основными компонентами космоса, составляют лишь малую его часть. Оказалось, что во Вселенной есть гораздо больше объектов, чем мы могли вообразить, и что значительная их часть скрыта от человеческого взора.

Невидимая Вселенная

В конце 1960-х – начале 1970-х годов астрономы Вера Рубин и Кент Форд из отдела земного магнетизма в Институте Карнеги в Вашингтоне занимались изучением спиральных галактик. Эти звёздные водовороты составляют примерно 15% от всех галактик, и к этому типу относится наш Млечный Путь. Рубин и Форд хотели выяснить, с какой скоростью звёзды в спиральных галактиках вращаются относительно их центра.

Они выбрали для изучения те галактики, которые повёрнуты к Земле ребром, потому что в них звёзды перемещаются вдоль линии прямой видимости. Используя сверхчувствительный спектрограф, они сумели измерить скорость звёзд с непревзойдённой точностью.

Чем дальше от центра галактики, тем меньше должно быть значение силы притяжения. Соответственно, Рубин и Форд ожидали, что звёзды на границе спирали будут вращаться медленнее, как планеты в Солнечной системе, скорость движения которых уменьшается по мере удаления от Солнца.

Но они обнаружили нечто совсем иное.

Насколько учёные могли видеть, на всех орбитах вокруг центра спиральной галактики скорость звёзд оставалась постоянной. Звёздный водоворот был слишком быстрым. Казалось бы, при такой скорости их должно было бы отбрасывать в стороны, как сиденья на цепочной карусели. Они давно должны были оторваться от галактики и пуститься в свободное космическое плавание. Сила притяжения к центру галактики не должна была их удерживать.

Но удерживала.

Современные астрономы, как и их коллеги в XIX веке, непоколебимо верят в закон всемирного тяготения Ньютона, который за все эти годы принёс им столько успешных открытий.^[96] Поэтому Рубин и Форд придумали этому аномальному поведению звёзд объяснение, которое недалеко ушло от рассуждений Адамса и Леверье о странном движении Урана. Видимо, звёзды в спиральных галактиках не разлетаются потому, что их удерживает сила гравитации, присущая большему объёму материи, чем можно увидеть в телескоп. Гораздо большему объёму.

Судя по всему, каждая спиральная галактика окружена сферическим облаком тёмной материи (чтобы представить это наглядно, вообразите себе компакт-диск в центре пчелиного роя). Тёмная материя либо вообще не излучает свет, либо излучает недостаточно, чтобы его могли зафиксировать современные приборы, а её масса превышает массу видимых звёзд примерно в десять раз.

Открытие Нептуна показало учёным, что они долгое время не замечали целой планеты в Солнечной системе. Открытие тёмной материи имело куда более серьёзное значение. Оно показало нам, что мы долгое время не замечали почти всю Вселенную.

Мнение о том, что Вселенная больше, чем нам кажется, высказывалось ещё в 1930-х годах. Фриц Цвикки, американский астроном швейцарского происхождения из Калифорнийского технологического института в Пасадине, наблюдал за скоплениями галактик. К своему удивлению, он обнаружил, что галактики, из которых состоят подобные скопления, вращаются с такой скоростью, что давно должны были бы разлететься. Примерно в то же время в Голландии Ян Оорт открыл, что звёзды, находящиеся недалеко от нашего Солнца, вращаются быстрее ближе к центру Млечного Пути, что можно объяснить притяжением видимой материи внутри солнечной орбиты.

Цвикки заключил, что в скоплениях галактик на самом деле имеется больше материи, а Оорт понял, что не всю материю в нашей собственной

Галактике можно рассмотреть в телескоп. Именно дополнительное притяжение этой тёмной материи, как назвал её Цвикки (он использовал немецкий термин *Dunkle Materie*), удерживает вместе звёзды и галактики.

Идея о невидимых массах во Вселенной по каким-то причинам оказалась непопулярной в астрономических кругах (возможно, потому, что в неё сложно было поверить). Но ситуация изменилась, когда Рубин и Форд представили свои наблюдения за звёздами в спиральных галактиках.^[97] Множество звёзд вели себя аномальным образом, и закрывать на это глаза было нельзя.

Гравитация не только указывает на наличие тёмной материи, но и позволяет рассчитать её распределение. Дело в том, что по пути к Земле свет от дальних галактик искривляется за счёт силы притяжения тёмной материи. По искажению, или «линзированию» изображений, таких галактик можно понять, как тёмная материя была распределена на их пути. Прямо сейчас в горах Чили идёт создание телескопа, который поможет учёным исследовать этот эффект. Большой обзорный телескоп (Large Synoptic Survey Telescope) станет чем-то вроде телескопа наоборот.^[98] Его задачей будет собирать свет и создавать изображения тьмы.

Свидетельствами существования тёмной материи являются не только спиральные галактики. Есть и ещё одно важное место. Вселенная появилась 13,82 миллиарда лет назад в результате Большого взрыва и с тех пор расширяется и остывает. Из обломков материи после взрыва родились около 100 миллиардов галактик, включая и наш Млечный Путь. Единственный минус этого сценария в том, что он не учитывает одну довольно важную характеристику Вселенной — существование людей.

Галактики появились на свет потому, что какие-то области гигантского огненного шара во время Большого взрыва оказались более плотными, чем другие (считается, что эти «колебания плотности» в первые доли секунды после взрыва оставили свой отпечаток на всей Вселенной в виде квантовых процессов, но это уже совсем другая история).^[99] Так как более плотные области имели чуть большую силу притяжения, она накапливали материю быстрее, чем другие. Дополнительная масса увеличивала силу притяжения и так далее по замкнутому кругу. Но дело в том, что этот процесс идёт очень медленно; 13,82 миллиарда лет, прошедших с момента зарождения Вселенной, было бы недостаточно для формирования таких больших галактик, как Млечный Путь. Значит, во Вселенной должно существовать больше материи, которую мы не можем увидеть в телескопы. Материи, чья гравитация ускорила рождение галактик. Тёмной материи.

Масса всей тёмной материи во Вселенной превышает массу видимой материи (включая галактики, звёзды и прочие объекты, состоящие из атомов, вроде нас с вами) примерно в 5–6 раз. На самом деле благодаря европейскому телескопу «Планк», который регистрирует «остаточное свечение» Большого взрыва, мы можем назвать даже более точную цифру. В то время как атомы составляют 4,9% энергии массы в нашей Вселенной, 26,8% приходится на тёмную материю. Оставшиеся 68,3% известны также как «тёмная энергия». Они были открыты в 1998 году, невидимы для человеческого глаза, заполняют собой весь космос и обладают отталкивающей гравитацией, но это тоже совсем другая история. [\[100\]](#)

Если вы спросите меня, что такое тёмная материя, я не смогу ответить вам ничего по существу. Некоторые считают, что она состоит из ещё неизвестных человечеству субатомных частиц. Некоторые физические теории, например теория суперсимметрии, постулируют существование доселе неизвестных фундаментальных частиц, которые не «чувствуют» электромагнитную силу и потому не испускают электромагнитных волн, то есть света. Ещё одно предположение состоит в том, что чёрная материя — это множество чёрных дыр, каждая весом с Юпитер и размером с холодильник, которые возникли под воздействием сил Большого взрыва. [\[101\]](#)

Если тёмная материя состоит из «допотопных» чёрных дыр и они равномерно распределены по всей Вселенной, то до ближайшей такой дыры нам придётся лететь 30 световых лет, почти в десять раз дальше, чем до самой близкой к Земле звезды, Альфе Центавра. Если же она состоит из субатомных частиц, то прямо сейчас тёмная материя проходит сквозь вас, не встречая сопротивления, как пуля через сгусток тумана. Лишь одно можно сказать о тёмной материи с полной определённойностью: если вы разгадаете её природу, в Стокгольме вас будет ждать ваша Нобелевская премия.

Говоря современным языком, Нептун был тёмной материей своего времени. Но если мы перенесёмся на машине времени в XIX век, то узнаем, что он был не один. Существовала и ещё одна загадочная ускользающая планета, и называлась она Вулкан.

Вулкан

Наверняка многие из вас при слове Вулкан вспомнили родную планету Спока из сериала «Звёздный путь». Джин Родденберри, создавший его ещё

в 1960-х годах, выбрал название не случайно. Такая планета действительно существовала, по крайней мере в воображении астрономов XIX века, в частности Леверье.

После триумфального предсказания о существовании Нептуна звезда Леверье взошла на небосклоне науки, и в 1854 году его назначили директором Парижской обсерватории. Но никакая работа, никакие достижения не давали ему того чувства восторга, которое он испытал, чудесным образом найдя новый мир на окраине Солнечной системы. За это открытие монаршие особы искали его расположения, а научный мир и вовсе боготворил. Слава и преклонение вскружили ему голову, и он хотел получать их снова и снова. Если бы только он мог повторить свой успех, если бы ещё раз сумел сделать невероятное предсказание, которое поразит всё человечество. Для этого Леверье решил обратить своё внимание на внутреннюю, а не на внешнюю часть Солнечной системы.

Он задался амбициозной целью: полностью изучить орбиты Меркурия, Венеры, Земли и Марса. Если он сделает это, то, возможно, найдёт какую-нибудь аномалию, которая приведёт его к новому блестящему открытию.

Как я уже упоминал, на каждую планету действует не только сила притяжения Солнца, но и гравитация прочих планет. В результате такого влияния планета не вращается постоянно по одному и тому же пути. Вместо этого её эллиптическая орбита смещается с течением времени, заставляя планету двигаться по розетковидному маршруту. Из-за прецессии во время подхода к Солнцу на минимальное расстояние (перигелий) путь планеты плавно его огибает. Астрономы называют такую точку *прецессией перигелия*.^[102]

В 1843 году, за три года до открытия Нептуна, Леверье впервые занялся четырьмя внутренними планетами Солнечной системы. Чтобы рассчитать орбиту каждой из них, он мучительно складывал значения гравитационного воздействия всех остальных планет Солнечной системы. К сожалению, его предположения не соответствовали наблюдениям. Леверье подозревал, что дело было в недостаточно точной информации о расстояниях и массах планет. Итак, через десять лет после своего триумфа с Нептуном он решил внести ясность в планетарную статистику.

В 1852 году самым точным средним значением расстояния от Земли до Солнца считались 95 миллионов миль^[103]. К 1858 году Леверье уточнил эту цифру — 92,5 миллиона миль^[104] (что лишь на половину процента отличается от результатов современных измерений). Ещё через год,

вооружённый этим знанием, Леверье ещё раз принялся за расчёт планетарных орбит.

Это было долгое и утомительное предприятие, и, как и 16 лет назад, Леверье не удалось добиться успеха. Его расчёты не сходились с результатами наблюдений, полученными астрономами. Но Леверье верил в закон всемирного тяготения Ньютона и в собственную математическую интуицию, а потому продолжил расчёты. Ему всё ещё казалось, что дело в недостаточно точных данных относительно масс планет и расстояний между ними. Он попытался корректировать их по одному. Эта задача отняла у него очень много времени, но в конце концов его усилия принесли свои плоды. Нужно было внести лишь небольшое изменение, чуть увеличив массы Земли и Марса, и можно было точно рассчитать орбиты всех внутренних планет.

Всех, кроме одной.

Меркурий — самая близкая к Солнцу планета, а также самая маленькая в Солнечной системе. Даже луна Юпитера Ганимед превышает её по размеру.

Согласно расчётам Леверье, притяжение ближайшей к Меркурию планеты, Венеры, заставляет его перигелий приближаться к Солнцу примерно на $1/5000$ длины его орбиты каждые 100 лет. Астрономы при описании подобного явления использовали бы ещё более непонятные термины. Они бы сказали, что Венера заставляет перигелий Меркурия сдвигаться на 280,6 угловой секунды в столетие (одна угловая секунда равна $1/60$ угловой минуты, а угловая минута — $1/60$ градуса). Леверье рассчитал, что притяжение газового гиганта Юпитера добавляет к этому ещё 152,6 угловой секунды в 100 лет, Земли — 83,6 угловой секунды, а оставшихся планет — всего 9,9 угловой секунды. Сложив все эти числа, Леверье получил значение для прецессии перигелия Меркурия — 526,7 угловой секунды за 100 лет.

Вот только это значение было неправильным. Тщательные наблюдения за Меркурием показали, что его перигелий сдвигается примерно на 565 секунд в столетие. Это означает отличие от расчётных значений, равное 38 угловым секундам (современное значение составляет 43 угловых секунды за 100 лет).

Расхождение было крошечным, но Леверье проводил достаточно точные расчёты, чтобы показать, что оно действительно существует. Каждые 100 лет прецессия перигелия Меркурия составляла на 38 угловых секунд больше необходимого. Иными словами, даже если бы все прочие планеты Солнечной системы покинули её и улетели в космос, то есть не

оказывали бы никакого влияния на Меркурий, он всё равно двигался бы по своему розеточному пути, который повторяется примерно раз в три миллиона лет и который совершенно невозможно объяснить.

Леверье не верил своим глазам. Аномалия с Ураном повторялась! На Меркурий должно было действовать скрытое от человеческих глаз небесное тело, расположенное внутри орбит внутренних планет. Леверье пришлось собраться с духом, чтобы озвучить своё предположение. Возможно ли, что этим телом была новая планета?

Чтобы рассчитать её скорость, Леверье предположил, что она движется по орбите на полпути между Меркурием и Солнцем. Если её масса была примерно равна массе Меркурия, её воздействие как раз могло бы объяснить его необычную прецессию. На этом этапе тут же возник вопрос: почему такую большую планету ещё не заметили астрономы? Разумеется, рассмотреть её было бы сложно из-за солнечного света, но она должна была быть видна во время полных солнечных затмений, когда Луна полностью закрывает собой солнечный диск и становятся видны даже очень близкие к нему звёзды.

А если дело не в планете, в чём ещё оно могло бы быть? Леверье задумался, может ли странное поведение Меркурия объясняться воздействием группы астероидов, движущихся по орбите между ним и Солнцем. Если так, то некоторые из этих объектов могли быть достаточно большими, чтобы можно было увидеть их прохождение (транзит) по солнечному диску.

Удивительно, но проходящие таким образом объекты уже наблюдались ранее. Сельский врач из Франции по имени Эдмон Модест Лескарбо увлекался астрономией. Задумавшись о поясе астероидов между Марсом и Юпитером, открытом в начале XIX века, он решил выяснить, где ещё в Солнечной системе могут находиться подобные объекты.^[105] Он уже видел Меркурий (чёрную точку на фоне Солнца) в свой рефракторный телескоп диаметром четыре дюйма^[106], установленный в Оржер-ан-Бос, что примерно в 70 километрах от Парижа. Естественно было бы предположить, что, если между Меркурием и Солнцем имеются астероиды, их тоже можно рассмотреть подобным образом.

В субботу 26 марта 1858 года Лескарбо работал в своей клинике. У него появилось свободное время между приёмами, и он решил посвятить его наблюдениям за Солнцем. Чтобы не ослепнуть, он проецировал изображение солнечного диска на бумагу. На этой проекции его внимание привлекла крошечная чёрная точка, расположенная на самом краю Солнца.

Разумеется, Лескарбо не терпелось увидеть её перемещение, но наступило время принимать следующего пациента. Когда астроном смог вернуться к своему телескопу, он с облегчением обнаружил, что точка никуда не делась. Лескарбо следил за ней до тех пор, пока она не скрылась за пределами солнечного диска. Он засёк время транзита — 1 час 17 минут 19 секунд. Именно такой скорости орбитального движения стоило ожидать от астероида во внутренней части Солнечной системы.

Поразительно, но Лескарбо никому не сообщил о своём открытии. Только через девять месяцев, прочитав статью Леверье о возможном существовании между Меркурием и Солнцем ещё одного объекта или объектов, он решился написать в Парижскую обсерваторию.

Леверье отнёсся к заявлениям доктора крайне скептически, но стремление повторить успех с Нептуном пересилило. Он вынужден был встретиться с коллегой. Тридцать первого декабря 1859 года Леверье сел на поезд из Парижа в Оржер-ан-Бос, даже не предупредив Лескарбо о своём приезде. Он ожидал увидеть провинциального любителя, но вместо этого обнаружил первоклассного учёного, создавшего высокоточные научные инструменты. Подробно расспросив Лескарбо о его наблюдениях, Леверье уверился в правдивости его слов.

Невероятно, но ему снова улыбнулась удача. Успех, пришедший к нему с открытием Нептуна, повторился. Он верно предсказал существование ещё одной планеты между Меркурием и Солнцем. Поистине он был богом среди людей.

Вернувшись в Париж, Леверье перевёл открытие Лескарбо на язык цифр. Если новая планета вращается вокруг Солнца по окружности, то она должна полностью проходить свою орбиту за 21 день. Соответственно, несколько раз в году можно наблюдать её транзит по солнечному диску.

Леверье объявил об открытии новой планеты, вызвав этим восхищение всего мира. К февралю 1860 года у неё появилось имя. Планеты называют именами древних богов, а кузнецом на горе Олимп, где они жили, был Вулкан. Это имя прекрасно подходило, ведь новую планету постоянно опалял солнечный жар. Итак, она стала Вулканом.

Другие астрономы, в частности специализировавшиеся на пятнах на Солнце, быстро заявили, что тоже наблюдали транзит Вулкана, но не распознали в нём планету.^[107] Следующий случай увидеть её прохождение по солнечному диску должен был представиться между 29 марта и 7 апреля 1860 года. Астрономы в индийском Мадрасе и в Австралии (Сиднее и Мельбурне) внимательно наблюдали за Солнцем всё это время. Но ничего не произошло.

Шли годы. Некоторые учёные заявляли, что видели новую планету, но большинство других её не замечали. Кроме того, наблюдения свидетелей ни разу не подтверждались независимыми третьими лицами.

После полного солнечного затмения 7 августа 1869 года некоторые наблюдатели снова заявили, что видели Вулкан. К счастью, свидетелем этого события был и пионер космической фотографии Бенджамин Апторп Гулд из Берлингтона, штат Айова. Он сделал 42 снимка туманной белой «короны» вокруг Солнца, которая видна только во время полных затмений. Ни на одной из фотографий не было и следа новой планеты.

Решающий удар по открытию Леверье нанесло полное затмение 29 июля 1878 года. Множество астрономов на поездах железной дороги Union Pacific отправились на Средний Запад в город Роулингс, штат Вайоминг. Среди них были и величайшие наблюдатели того времени, в том числе Саймон Ньюком из Военно-морской обсерватории в Вашингтоне (к сожалению, история запомнит его в первую очередь как человека, провозгласившего, что предметы тяжелее воздуха не могут летать, прямо накануне первого полёта братьев Райт) и Норман Локьер, который 20 октября 1868 года, сидя в своём саду в лондонском пригороде Уимблдоне, открыл в составе Солнца гелий — первый элемент, который сначала обнаружили в космосе, а потом выявили на Земле. Даже знаменитый на весь мир изобретатель Томас Эдисон принял участие в этом предприятии.

Добравшись до Роулингса, учёные разбрелись по подходящим для наблюдения точкам и начали устанавливать свою аппаратуру. Небо было затянуто облаками, а глаза их постоянно слезились от пыли и песка, которые ветер швырял им в лицо. Тем не менее, несмотря на погоду и помехи в работе оборудования, многие из них увидели и даже сфотографировали затмение. Новую планету заметил только один.

Джеймс Крейг Уотсон, директор обсерватории Энн-Арбор в штате Мичиган, сообщил, что видел небольшой красноватый объект, вращавшийся вокруг Солнца внутри орбиты Меркурия. Новость немедленно облетела весь мир. Возможно ли, что через 20 лет после того, как Леверье предсказал существование новой планеты, она наконец-то явила себя людям?

Проблема состояла лишь в том, что никто больше её не заметил. Многие наблюдатели видели маленькое красное пятнышко, но опознали в нём тусклую звезду Тета Рака. Уотсон стоял на своём, даже когда уже было довольно очевидно, что его коллеги правы, а он ошибается. Он умер от болезни в 42 года в 1880 году и до самой кончины был уверен, что своими глазами видел Вулкан.

Расклад сил поменялся, и учёные пришли к мнению, что Вулкана не существует и никогда не существовало. Он оказался лишь фантазией, памятником человеческим заблуждениям, символом того, какой силой обладают желания. От Вулкана остались лишь полузабытые исторические сведения и имя планеты, на которой родился Спок.

Неразгаданная загадка

На самом деле предположение о существовании Вулкана вовсе не было таким уж безумным. Только в нашей Галактике вокруг звёзд вращаются тысячи планет, и многие из них похожи на Вулкан.

Одним из самых неожиданных открытий современной астрономии стало обнаружение газовых гигантов, которые находятся ближе к своим звёздам, чем Меркурий к Солнцу. Эти «горячие юпитеры» не могли сформироваться на таком расстоянии от звёзд. Газ нагрелся бы слишком сильно, и его атомы начали бы двигаться с такой скоростью, что сила притяжения не смогла бы удержать их вместе. Астрономы полагают, что «горячие юпитеры» рождаются гораздо дальше от своих солнц. Трение между ними и диском из космического мусора и обломков, из которого рождаются другие планеты, заставляет их двигаться по спирали и подходить ближе к звезде. Считается, что такая планетарная миграция произошла в доисторические времена и в нашей Солнечной системе. Судя по всему, Юпитер и Сатурн некоторое время играли в космические «музыкальные стулья», прежде чем занять свои места.

Глядя на планетарные системы вокруг других звёзд, можно заметить, что наша Солнечная система слишком вытянута. Орбиты более чем половины экзопланет находятся ближе к своим звёздам, чем орбита Меркурия к Солнцу. Вулканы в изобилии встречаются в нашей Галактике. Возможно, это иллюзия, вызванная ошибкой восприятия. Астрономы находят экзопланеты по колебаниям звёзд или потускнению их света, а планеты, близкие к своему солнцу, заметить легче всего, потому что они обычно быстро проходят полный круг по своим орбитам.

Возможно, что и наша Солнечная система стала необычной лишь какое-то время назад. Если верить компьютерным симуляциям её зарождения, изначально в непосредственной близости от Солнца могло вращаться несколько планет, которые затем столкнулись, и Меркурий оказался единственным выжившим. Если этот сценарий верен, то Вулкан действительно существовал. Вот только он разминулся с человечеством на

4,55 миллиона лет.

Леверье умер 23 сентября 1877 года. Он разгадал секрет необычного движения Урана, открыл Нептун и расширил границы Солнечной системы. Но Вулкан ускользнул от него, и он понимал, что не нашёл объяснения необычному движению Меркурия.

Наступил XX век, полный чудес: рентгеновских лучей, радиоактивности и летающих машин, подчиняющихся воле человека. Аномальное поведение Меркурия считалось любопытной, но не такой уж важной задачей. Никто не думал о ней день и ночь, мало кто вообще о ней задумывался. Потому-то никто и не заподозрил, что подобное поведение подсказывает нам: как это ни удивительно, но Ньютон был не прав насчёт гравитации.

Человека, который понял это и создал дополненную теорию гравитации, звали Альберт Эйнштейн. Но ещё до того, как он осознал неправоту Ньютона в отношении силы тяготения, Эйнштейн понял, что его великий предшественник неверно понимал характер её основ — пространства и времени.

Для дополнительного чтения

Aw T. Map of the Invisible World. — London: Fourth Estate, 2010.

Levenson T. The Hunt for Vulcan... And how Albert Einstein destroyed a planet, discovered relativity and deciphered the Universe. — London: Head of Zeus, 2015.

Schilling G. The Hunt for Planet X. — New York: Copernicus Books, 2009.

Часть II

Эйнштейн

5. Поймай меня, если сможешь

Как Эйнштейн понял, что нельзя двигаться быстрее скорости света и что это противоречит закону всемирного тяготения Ньютона.

Если верить мистеру Ньютону, пространство и время не разговаривали друг с другом, не женились и жили отдельно.

Роберто Тротта^[108]

С точки зрения физики скорость света в нашей теории имеет бесконечно большое значение.

Альберт Эйнштейн^[109]

Каково это — поймать луч света? Эйнштейну было всего 16 лет, когда он задался этим вопросом, и это стало его первым шагом к величию. К сожалению, он так и не рассказал, что подтолкнуло его в этом направлении, так что нам остаётся лишь строить догадки. Мы знаем, что он сформулировал свой вопрос в начале 1896 года в школе швейцарского городка Арау в 48 километрах к западу от Цюриха, где он жил в семье Винтелеров.

Я представляю себе, как он просыпается от солнечного света, льющегося в комнату через окно мансарды, которую он снимал. Ветер играет листьями липы за стеклом, и они разбивают свет на десятки крошечных солнечных зайчиков, танцующих на стене над его кроватью. Он вытягивает руку и, как ребёнок, пытается поймать пятно света. Его так завораживает пляска солнца на обоях, что он даже забывает, что нужно вставать. Идиллия нарушается стуком в дверь: «Герр Эйнштейн! — это голос Мари Винтелер, симпатичной 18-летней дочери хозяина дома, которая в него немного влюблена. — Папа просит передать вам, что завтрак готов».

Я представляю, как пару часов спустя Эйнштейн сидит за своей партой в просторном классе школы кантона Арау и глядит в окно на реку Аре. Дождь, стучавший по оконному стеклу, прекращается так же быстро, как и начался. Густые облака расходятся, и на сумеречный город падает столб

света, превращая его в библейскую иллюстрацию. Там, где солнечные лучи касаются поверхности реки, вода сверкает, как бриллиант. Эйнштейн так зачарован этим зрелищем, что совсем забывает про лекцию (речь в ней идёт о схемах маршрутизации в генераторах переменного тока). И тут его мечты прерывает рёв директора школы доктора Августа Тухшмида: «Герр Эйнштейн! Прошу прощения, что утомил вас. Может быть, в оставшиеся полчаса вы обратите на меня своё драгоценное внимание?».

Вечером того же дня Эйнштейн и Мари Винтелер, держась за руки, бегут по узким улочкам Арау, прыгают по лужам и хохочут взахлёб, как любые подростки. Они промокли насквозь, но их это не волнует. Внезапно они останавливаются, он притягивает её к себе и целует. За её плечом он видит ряд газовых фонарей, светящихся жутковатым зелёным светом. Чем дальше фонари от него, тем меньше они кажутся и тем слабее светят. В маслянисто-чёрных лужах он видит отражения фонарей и полной луны, которая похожа на ещё один фонарь, оторвавшийся от земли и поднявшийся в небо. Он перестаёт целоваться с Мари и смотрит вверх.

— Альберт?

Весь день его завораживал свет, весь день он думал о нём. И весь день его мучал один вопрос: что не так с нашим пониманием света? Ответ на него заключается в самом вопросе, но Эйнштейн ещё не сформулировал его достаточно точно.

Он не слышит, что ему говорит его подруга, потому что в мыслях он находится в четверти миллиона миль^[110] отсюда. Свет Луны прошёл именно такое расстояние, прежде чем достиг его глаз. Он пытается представить себе его путь — одинокое путешествие в холодном вакууме на скорости миллиард километров в час, — и его сердце замирает. Внезапно он понимает, какой вопрос нужно задавать на самом деле. Этот вопрос откроет ему двери в совершенно новый мир знаний. Он кажется таким очевидным, что Эйнштейн удивляется, почему не задался им раньше.

— Альберт, о чём ты думаешь?

Ещё до того, как он заговорит, Мари понимает, что сама ни за что бы не придумала ответ. Хотя Эйнштейну всего 16, он уже видит мир не так, как остальные, и мыслит так, как никто никогда не мыслил. Она видела в его комнате учебники, над которыми он просиживал ночи до рассвета, и не поняла ни слова, как будто те были написаны иероглифами. Она не может последовать за ним и проникнуть в его мир. Её настигает понимание: скоро она ему наскучит и он уйдёт. В уголках её глаз появляются слёзы.

— О чём я думаю? — переспрашивает он, как будто очнувшись ото сна.

— Да, — она вытирает глаза рукавом, но он этого не замечает.

— Я думаю, каково это — поймать луч света.^[111]

Она закатывает глаза, берёт его за руку и тащит в сторону дома.

— Альберт, ты такой странный.

Разумеется, вся эта история — лишь плод моей фантазии. Но мне так нравится её представлять! К моменту, когда 16-летний Эйнштейн сформулировал свой важнейший вопрос, учёные считали свет волной (такой же, какую можно увидеть на поверхности пруда). Это не совсем очевидно, потому что расстояние между гребнями световой волны очень мало, меньше ширины человеческого волоса. Тем не менее волновая природа света была подтверждена в 1801 году английским физиком Томасом Юнгом в ходе оригинального эксперимента.^[112] Но никто до сих пор не знал, что же такое свет.

Всё изменилось в 1863 году, когда шотландский физик Джеймс Клерк Максвелл, проведя *огромную* теоретическую работу, свёл все электрические и магнитные явления к единому набору изящных формул. Уравнения Максвелла демонстрируют, как изменения в электрическом поле создают магнитное поле и наоборот. Описание этой связи между электричеством и магнетизмом считается третьим величайшим научным объединением после объединения небес и Земли (Ньютоном) и человека с остальным животным миром (Дарвином).^[113]

Анализируя свои стройные уравнения, Максвелл заметил кое-что неожиданное. Они предусматривали движение волн сквозь электрические и магнитные поля, заполняющие пустые пространства. К тому же волны двигались вперёд *со скоростью света в вакууме*. Вывод напрашивался сам собой, хотя и был удивительным. Свет должен представлять собой электромагнитную волну. Максвелл не только нашёл связь между электричеством и магнетизмом, но и добавил к ним *свет*.^[114]

За 20 лет, прошедших с момента обнародования теории Максвелла, учёные добились потрясающих успехов. Немецкий физик Генрих Герц, действуя по указаниям своего шотландского коллеги, создал искусственные электромагнитные волны. В ноябре 1886 года он, используя искровой разряд в качестве передатчика, послал невидимые радиоволны,^[115] которые индуцировали электрический ток в катушке с проволокой, стоявшей на другом конце лаборатории и действующей в качестве приёмника.

Наш мир, оплетённый сетью из миллионов невидимых разговоров, которые каждую секунду передаются по воздуху, родился именно в тот день. Американский физик XX века Ричард Фейнман говорил: «В истории

человечества (если посмотреть на неё, скажем, через десять тысяч лет) самым значительным событием XIX столетия, несомненно, будет открытие Максвеллом законов электродинамики». ^[116]

Но, несмотря на все научные триумфы, которые стали возможными благодаря теории Максвелла, она создавала для физиков одну серьёзную проблему. Дело в том, что она совершенно не сочеталась с законами движения, сформулированными Галилеем и Ньютоном.

Волны всегда распространяются в какой-либо среде: морские волны в воде, а звуковые — в воздухе. Гипотетическая среда, в которой движется свет, была названа эфиром. ^[117] Из факта его существования следовал неизбежный вывод: скорость светового луча, измеряемая наблюдателем, должна зависеть от скорости его движения в эфире. Представьте себе, что вы стоите на палубе яхты. Скорость ветра, бьющего вам в лицо, будет определяться тем, идёт яхта по ветру или против него. Но в уравнениях Максвелла присутствовала некоторая странность. Они никаким образом не ссылались на среду движения света и содержали лишь одно значение скорости светового луча в вакууме. Она была неизменной, постоянной, не зависящей от условий мира, в котором она существует.

Логично было бы предположить, что в расчёты Максвелла вкралась ошибка, которую нужно было найти и исправить. В конце концов, они были всего лишь модной новинкой, в то время как ньютоновские законы движения были сформулированы двумя столетиями ранее и за всё это время никто ни разу не заметил их расхождений с реальностью. Вот тут-то на сцену и вышел Эйнштейн. Его заворожило не только само подтверждение максвелловской теории, полученное Герцем, но и его *красота* — свойство, которое он считал признаком *истинности*.

Ньютон говорил, что Платон его друг и Аристотель тоже, но главным своим другом он считает истину. Забавно, что Эйнштейн нашёл в себе силы оспорить постулаты Ньютона именно потому, что был полностью согласен с этим утверждением. Поэтому он и задал себе важнейший вопрос: каково это — поймать луч света?

Увидеть невозможное

Согласно Максвеллу, световая волна — это сложная конструкция из электрического и магнитного полей, колеблющихся под прямым углом друг к другу и к направлению движения света. Электрическое поле увеличивается, когда магнитное уменьшается, и наоборот. Распад одного

поля генерирует другое, и они сменяют друг друга, создавая самоподдерживающуюся электромагнитную волну.

Мы не будем вдаваться в детали. Достаточно просто представить себе свет как волну, пробегающую по поверхности озера. Если бы мы попытались её остановить, она оказалась бы последовательностью пиков и спадов, застывшей, как на фотографии. Проблема, которую подросток по фамилии Эйнштейн осознал в Арау, состояла в том, что уравнения Максвелла не предусматривали существования неподвижной электромагнитной волны. Если бы нам удалось поймать луч света, произошло бы что-то невероятное, что-то, что согласно законам физики просто не может существовать.

Как разрешить этот парадокс? Эйнштейн понял, что если теория Максвелла верна, то оставался только один способ. Если движение со скоростью света приводило к чему-то невозможному, оно само по себе должно было быть невозможным. Всё просто. Вот только ньютоновские законы позволяют телу двигаться *с любой скоростью*, и в них ничего не говорится о её ограничениях.

Говорить, что ни одно материальное тело не может двигаться со скоростью света, было очень рискованно. Это означало попытку свергнуть с пьедестала Ньютона, величайшего из когда-либо живших учёных. Без серьёзных доказательств от таких заявлений следовало бы воздержаться. Вот почему Эйнштейн потратил целых девять лет, пытаясь собрать воедино теорию электромагнетизма и ньютоновские законы динамики. Лишь в 1905 году пазл сложился у него в голове.

Патентный рай

К этому моменту 26-летний Эйнштейн работал техническим экспертом III класса в Швейцарском федеральном патентном бюро в Берне. Эту должность он получил в 1902 году. Он проживал в двухкомнатной квартире на третьем этаже дома номер 49 по улице Крамгассе вместе со своей женой, сербкой Милевой Марич, и их годовалым сыном Хансом Альбертом. Марич была старше Эйнштейна на четыре года и единственной женщиной в его классе в Швейцарской федеральной политехнической школе в Цюрихе. Их роман вызвал скандал среди их родственников, особенно когда в 1902 году у Марич и Эйнштейна родился внебрачный ребёнок — дочка по имени Лизерль, упоминания о которой встречаются лишь в письмах в Нови Сад и из него, куда Милева уехала рожать. Девочка

либо умерла через полтора года, либо была передана на попечительство семье Милевы. Эйнштейн и Марич скрывали её существование от друзей в Швейцарии, поэтому лишь они одни знали правду о судьбе девочки.

Патентная служба спасла Эйнштейну жизнь, за что он оставался ей благодарен до конца дней. Он не сумел получить должность учителя или место в университете, и, как он сам признавался, ему приходилось жить впроголодь. Патентная служба дала ему достаточные доход и респектабельность для того, чтобы в 1903 году жениться на Милеве. Несмотря на то что скорбь от утраты дочери дамокловым мечом нависала над их союзом, Эйнштейн считал время, проведённое в патентной службе, одним из самых счастливых периодов своей жизни. ^[118]

Работа техническим экспертом III класса не только позволяла ему оплачивать счета, но и давала доступ к последним новинкам эры электричества. Свои знания в области электроприборов он получил в разорившейся отцовской фирме в Милане, занимавшейся электрическим освещением. Тем не менее, работая в своём кабинете на верхнем этаже здания почтовой и торговой администрации, что на улице Генфергасс недалеко от центрального вокзала Берна, он сумел их применить. К радости его начальника Фридриха Халлера, Эйнштейн безошибочно определял даже мельчайшие ошибки в чертежах генераторов, моторов, трансформаторов и других устройств, которые каждый месяц доставляли в патентное бюро. У монотонной работы 48 часов в неделю было своё преимущество — она не занимала его мозг так, как могло бы занять преподавание. У Эйнштейна было много времени на размышления, и он использовал его как следует.

Тысяча девятьсот пятый год попал в анналы науки как «год чудес» Эйнштейна. «Никому ни до, ни после него не удавалось раздвинуть горизонты физики за столь короткий срок, как это сделал Эйнштейн в 1905 году», — писал физик Абрахам Пайс. ^[119] Никому, кроме, возможно, Исаака Ньютона. Но его «год чудес» длился около 18 месяцев, а Эйнштейн справился всего за три. В период с 17 марта по 30 июня Эйнштейн закончил работу над четырьмя научными трудами такой потрясающей силы, что они полностью изменили всю физическую науку.

Первая работа, которую Эйнштейн называл «очень революционной» и которая в 1921 году принесла ему Нобелевскую премию по физике, ставила под сомнение саму идею света как волны. Эйнштейн предполагал, что атомы излучают или поглощают свет крошечными порциями — *квантами*. ^[120] Во второй работе, благодаря которой он получил степень доктора наук

в Цюрихском университете, определялись размеры атомов (чьё существование на рубеже веков всё ещё ставилось под сомнение) на основании их диффузии в жидкости.^[121] Третья работа описывала необычное движение частиц пылицы в воде (так называемое броуновское движение, открытое ботаником Робертом Броуном в 1827 году). Эйнштейн предполагал, что оно возникает в результате бомбардировки частиц молекулами воды.^[122] Наконец, последняя работа в этой невероятной серии рассказывала о том, как тяжело поймать свет.^[123]

Катализатором данного процесса был Мишель Бессо, с которым Эйнштейн увиделся в середине мая 1905 года. Бессо был на шесть лет старше Эйнштейна, и они дружили с 1896 года, когда Эйнштейн получал квалификацию преподавателя в Швейцарской федеральной политехнической школе в Цюрихе, а Бессо работал инженером-механиком в соседнем Винтертуре. Они оба любили музыку (Эйнштейн неплохо играл на скрипке) и познакомились благодаря женщине по имени Селина Капротти из Цюриха, которая по субботам сдавала свой дом для посетителей, собиравшихся, чтобы вместе поиграть на музыкальных инструментах.^[124]

Бессо не только советовал Эйнштейну различные книги, но и вёл с ним бесконечные философские дискуссии об основах физики. Но самое главное — он помогал Эйнштейну посмотреть на свои идеи критическим взглядом. Вспоминая майский визит к Бессо, во время которого они касались проблемы неуловимости света, Эйнштейн говорил: «Это был прекрасный день. Мы обсудили все аспекты этой задачи...».^[125] Он не упоминал, как долго продолжался разговор, где он происходил и насколько эмоциональной была дискуссия. Но её результат, по словам Эйнштейна, был подобен лучу света в тёмной комнате, осветившему всё и сразу. «Внезапно я понял, в чём кроется проблема!»

Возможно, в тот вечер Эйнштейн рассказал об этом своей жене Милеве. Или он не мог заснуть и, лёжа в постели, мысленно рассматривал проблему со всех сторон, как до него делал Ньютон. Или же он работал за кухонным столом всю ночь до самого утра, заполняя записями одну страницу своего блокнота за другой. У нас нет сведений об этом моменте, потому что Милева, занятая работой по дому, не вела дневник и ни один журналист впоследствии не взял у неё интервью.

Встретившись с Бессо на следующий день, Эйнштейн был так возбуждён, что даже не поздоровался. «Спасибо, — сказал он. — Я наконец решил свою задачу. Для этого мне пришлось проанализировать всю

концепцию времени. Я понял, что время не имеет конечного определения и что между временем и скоростью распространения сигнала есть неразрывная связь». [\[126\]](#)

Бесконечная скорость света

Эйнштейн задумался: если луч света нельзя поймать, что это говорит о скорости света? Попробуем воспользоваться аналогией. Бесконечность в математике — это число больше любого другого числа. Если объект движется с бесконечной скоростью, его невозможно поймать. Тот факт, что свет невозможно поймать, означает, что по каким-то причинам в нашей Вселенной скорость света играет роль бесконечной скорости. Как писал Дуглас Адамс, «ничто не может двигаться быстрее света, за исключением разве что плохих новостей, распространением которых управляет особая физика». [\[127\]](#)

Эта аналогия очень удобна. Если что-то движется с бесконечной скоростью, ваша собственная скорость или направление движения не имеют значения. Ваша скорость будет настолько ничтожной по сравнению со скоростью света, что последняя покажется вам бесконечной. Если объект, движущийся со скоростью света, будет запущен с тела, которое движется по направлению к вам или от вас, то скоростью такого тела можно будет пренебречь по сравнению со скоростью запущенного объекта. Раз скорость света играет в нашей Вселенной роль бесконечной скорости, то она всегда остаётся постоянной, несмотря на скорость её исходной точки или наблюдателя. Скорость света постоянна для всех, вне зависимости от их движения, как и должно быть в соответствии с теорией Максвелла.

Но хватит обобщений, пора перейти к деталям. Как на практике возможно, что любой наблюдатель, с какой бы скоростью он сам ни перемещался, всегда получит одно и то же значение при измерении скорости солнечного луча?

По сути, скорость обозначает расстояние, на которое тело может переместиться за определённое время (представьте себе машину, которая преодолевает 100 километров по шоссе за один час). Если скорость света одинакова для всех, то нужно каким-то образом изменить расстояние и время для каждого.

Эйнштейн понял, что на самом деле человек, проходящий мимо вас, уменьшается в направлении движения, и одновременно замедляется его время, которое показывают его наручные часы. Он как будто бы становится

плоским, как блин, и двигается как в замедленной съёмке. [\[128\]](#)

Это уменьшение пространства и замедление времени действуют таким образом, что для каждого из нас, вне зависимости от нашего состояния движения, луч света движется с одинаковой скоростью. Всё это — один огромный заговор Вселенной для поддержания скорости света неизменной.

Разумеется, искривление пространства и времени невозможно заметить, если мимо вас проходит человек или проезжает машина. Вы сможете наблюдать эти странные эффекты лишь в том случае, если какой-нибудь объект пролетит рядом с вами со скоростью, близкой к скорости света. Но свет движется примерно в миллион раз быстрее самолёта Boeing 747, так что ни один предмет на Земле не сможет перемещаться настолько быстро.

Расширение времени

И всё-таки расширение времени *можно* измерить. В 1971 году учёные синхронизировали пару абсолютно точных атомных часов. Одни остались на месте, а вторые отправились в кругосветное путешествие на борту морского лайнера. Когда они вновь воссоединились, экспериментаторы обнаружили между показаниями часов небольшое расхождение. Тот факт, что двигавшиеся часы показывали меньше времени, точно совпадал с предсказаниями Эйнштейна.

Замедление времени влияет и на астронавтов. Российский физик Игорь Новиков отмечал: «Когда в 1988 году экипаж советской космической станции “Салют” вернулся на Землю после года, проведённого в движении со скоростью восемь километров в секунду, он на сотую долю секунды заглянул в будущее». [\[129\]](#)

Гораздо сильнее расширение времени действует на мюоны, субатомные частицы, которые возникают, когда космические лучи (разогнанные до огромных скоростей ядра атомов из космоса) сталкиваются с молекулами воздуха в верхних слоях атмосферы нашей планеты. Доказательство того, что на скорости, приближённой к скорости света, время замедляется, а пространство сжимается, прямо сейчас может проходить через ваше тело.

Мюоны возникают в атмосфере нашей планеты на высоте 12,5 километра и падают на Землю как субатомный дождь. Особенность мюонов состоит в том, что они распадаются в строго определённый срок. Он очень мал — всего 1,5-миллионная доля секунды. Выходит, максимальная

дистанция, которую мюон может пройти в атмосфере, не должна превышать 500 метров, и уж точно ни один мюон не должен достигать поверхности Земли.

Но они достигают.

Причина состоит в том, что мюоны движутся со скоростью, равной 99,92% скорости света. С нашей точки зрения, они проживают всю свою жизнь в режиме замедленной съёмки. Для мюонов время движется в 25 раз медленнее, чем для людей, и поэтому от их зарождения до распада проходит в 25 раз больше времени, и распад происходит уже на Земле.

Разумеется, на эту ситуацию можно посмотреть и с другой точки зрения — самого мюона. Для него время идёт с обычной скоростью, ведь *относительно себя самого* он (как и вы) неподвижен. Вас же он увидит уменьшающимися по направлению своего движения, вернее, даже нашего движения, ведь с точки зрения мюона это Земля приближается к нему со скоростью 99,92% скорости света. Уменьшается не только вы, но и атмосфера. Она сжимается до $1/25$ своей толщины, а значит, у мюона остаётся достаточно времени, чтобы достичь поверхности нашей планеты до начала распада.

С какой бы точки зрения мы ни рассматривали эту ситуацию (с вашей, при которой время мюона замедляется, или с точки зрения мюона, при которой атмосфера становится тоньше), мюон всё равно достигает Земли. В этом и состоит волшебство теории Эйнштейна.

«Время — это самая странная штука во Вселенной, за исключением застёжек-липучек, — говорит американский комик Дейв Берри. — Его нельзя увидеть или потрогать, но зато сантехник может выставить вам за него счёт 75 долларов, и вовсе не обязательно, что он при этом что-то починит».

Время и пространство не абсолютны

Осознание того, что движущиеся часы замедляются (этот эффект называют релятивистским замедлением времени), а движущиеся линейки укорачиваются (а этот — лоренцевым сокращением), переворачивает наше представление о реальности.^[130] Именно поэтому величайшие физики, жившие в одно время с Эйнштейном и располагавшие теми же фактами, не смогли сделать такие же выводы. Ни у кого, кроме Эйнштейна, не хватило смелости открыто бросить вызов Ньютону.

Будучи прагматиком, Ньютон верил в «абсолютное пространство»,

существующее как некоторый фон Вселенной, на котором разворачивается космическое представление. Любые две точки пространства соотносятся так же, как две булавки, воткнутые в холст художника.

Но Эйнштейн доказал, что абсолютного пространства не существует.

Помимо абсолютного пространства, Ньютон также верил в постоянное время, которое словно отсчитывали гигантские часы где-то во Вселенной. А раз время абсолютно, то для всего сущего интервал между любыми двумя событиями одинаков.

Эйнштейн же доказал, что такого явления, как абсолютное время, тоже нет. «Я не могу разговаривать с вами о времени, — писал Грэм Грин, — потому что моё время отличается от вашего».

Именно так. Временной интервал одного человека может быть не таким, как у другого, и это же правило верно и для пространственных интервалов. Время и пространство — это всего лишь песок, который пересыпается с места на место, а фундамент нашей Вселенной — это скорость света.

Если вам кажется, что эти рассуждения слишком туманны, то не волнуйтесь — так оно и есть. Эйнштейн начал свой путь к научным открытиям в 16 лет, просто задумавшись о том, можно ли поймать солнечный луч. Это навело его на мысли о том, что в ньютоновских законах движения есть некоторые пробелы, а также на идеи, как их заполнить. Но ему всё ещё нужно было разработать последовательную теорию, основанную не на предположениях, а на фактах, из которой свойства пространства и времени выводились бы максимально ясно. Именно над этим Эйнштейн и работал в течение нескольких недель после знаменательной встречи с Бессо в мае 1905 года.

Два краеугольных камня относительности

Эйнштейн построил свою теорию, которую мы знаем как специальную теорию относительности, на двух краеугольных камнях.^[131] Первым было утверждение о том, что скорость света не зависит от скорости его источника или наблюдателя. Вторым являлся «принцип относительности».

Ещё Галилей в XVII веке понял, что в движении с постоянной скоростью по прямой что-то не так. *Такое движение ничего не меняет.* Представьте себе, что вы бросаете своему другу мяч. Неважно, стоите ли вы в поле в 20 шагах от него или находитесь на таком же расстоянии, но на палубе корабля (при условии, что он плывёт ровно). В обоих случаях мяч

будет двигаться по воздуху одинаково.

Из этого наблюдения Галилей сделал вывод, что законы движения едины для всех людей, которые движутся с постоянной скоростью относительно друг друга. Иными словами, если бы с помощью транспортёра материи из «Звёздного пути» вас перенесли в корабельную каюту без окон, по броску мяча вы бы не смогли определить, находитесь вы на суше или в море. Говоря научным языком, закон движения, сведённый Ньютоном после смерти Галилея к трём постулатам, инвариантен для движения с постоянной скоростью по прямой линии. Он не сможет подсказать вам, находитесь вы в равномерном движении или нет. Всё потому, что понятие абсолютного движения, то есть движения в отношении абсолютного пространства по Ньютону, совершенно не имеет смысла.

Эйнштейн расширил «галилееву относительность». Согласно его принципу относительности инвариантными относительно равномерного движения являются не только законы движения, но и вообще *все законы физики*. Иными словами, нельзя провести такой эксперимент (включая и эксперименты с распространением света), который показал бы вам, движетесь вы или нет.

Как мы уже знаем, гипотетической средой, через которую якобы двигалась световая волна и в которой можно было измерить движение, считался эфир. Принцип относительности Эйнштейна позволяет полностью избавиться от этой идеи,^[132] показывая, что это всего лишь выдумка, тупик, в который учёные зашли по ошибке, реинкарнация «абсолютного пространства» Ньютона, возникшая в XIX веке. Свету не требуется среда для движения, потому что он представляет собой самоподдерживающуюся волну в электромагнитном поле. Так как абсолютное пространство больше не могло играть роль фона для измерения абсолютной скорости, можно говорить только о скорости относительной. Если мимо вас пролетит самолёт, его пространство в этот момент будет сжиматься, а время — замедляться. Вы можете задаться вопросом, как пилот самолёта будет в эту секунду видеть вас. Правильный ответ — *точно так же, как вы видите его*. Для него вы будете сжиматься в направлении своего движения и двигаться медленно, как будто вы завязли в патоке. Картина будет совершенно симметрична, потому что важно лишь относительное движение. Вы движетесь относительно пилота, а пилот — относительно вас, и при этом ваши скорости равны (хоть направления и различаются). Эйнштейн шутил на этот счёт: «Когда этот Цюрих останавливается в поезде?».

Итак, Эйнштейну понадобилось всего два принципа для создания

своей революционной теории пространства и времени: принцип относительности и принцип постоянства скорости света.^[133] Вооружённый этими на вид достаточно простыми идеями, он смог заполнить все недостающие пробелы.

Основы относительности

Эйнштейн начал с того, что дал определение времени. Он говорил с детской прямоотой и простотой: «Время — это то, что измеряют часы».^[134] Осталось лишь понять, что такое часы.

Эйнштейн представил себе самые простые из возможных часов, состоящие из источника света и плоского зеркала на определённом расстоянии от него. Одним делением на часах обозначалось время, необходимое свету, чтобы достичь зеркала, отразиться от него и снова вернуться к источнику.

Теперь вообразите, что такие часы находятся в поезде, который мчит мимо вас. Конечно, чтобы вы могли их увидеть, вам нужно рентгеновское зрение (или прозрачные стенки вагонов), но давайте абстрагируемся от деталей, ведь это всего лишь мысленный эксперимент, который поможет нам усвоить базовые понятия. Важно лишь то, что, пока свет движется к зеркалу и от него, и он, и само зеркало движутся относительно вас вместе со всем поездом. Для вас луч не направлен на зеркало строго вертикально вверх, а образует угол. Соответственно, и к источнику он возвращается под углом. С вашей точки зрения свет не перемещается вверх и вниз, а движется по сторонам равнобедренного треугольника. Ему приходится проходить большее расстояние, а значит, временной интервал, который мы измеряем с помощью этой конструкции, увеличивается. Вот почему движущиеся часы действительно идут медленнее.

С помощью аналогичных геометрических аргументов можно доказать, что с вашей точки зрения линейка, находящаяся в том же поезде, укорачивается в направлении движения.

Если вы думаете, что эти аргументы выглядят искусственными и касаются лишь абстрактных часов и линеек, вспомните, что все атомы, из которых состоит ваше тело, тоже действуют подобным образом. Логика Эйнштейна применима и здесь, и с ней абсолютно невозможно бороться. Все часы (а их работу как раз и проверяют с помощью отражения светового луча) в конечном итоге сводятся к простой конструкции, которую мы только что описали.^[135]

Время замедляется, а пространство сжимается везде в зависимости от вашего относительного движения. Ваше время и время другого человека различны,^[136] равно как и ваше пространство и пространство других людей. Измерения пространства и времени связаны со скоростью сигнала, то есть световой скоростью. А это значит, что его постоянство имеет огромное значение для нашей реальности.

Для того чтобы написать свою работу, Эйнштейну потребовалось пять недель, и за это время он сбросил ньютоновские взгляды с пьедестала и заменил их собственными. Своему коллеге Йозефу Заутеру из патентного бюро он сказал об этом: «Я не могу описать словами, как я счастлив».^[137]

Статья «К электродинамике движущихся тел» была опубликована 28 сентября 1905 года. В конце любой научной работы обычно приводится список трудов других авторов, которые на неё повлияли. Эйнштейн не добавил в этот список ни одной работы. Из других учёных он упомянул только великих физиков Ньютона, Галилея, Клерка Максвелла и Герца, да и то лишь для отсылки к их работам. На самом деле другие учёные действительно никак не повлияли на рассуждения Эйнштейна, по крайней мере в значительной степени. Многие отмечали разрозненные элементы новой картины мира, но никто не видел её во всей полноте. Это был фундаментальный принцип, связавший всё воедино.

И Галлей, и Рен, и Гук подозревали о существовании закона обратных квадратов, но лишь Ньютон, вооружённый точными определениями массы и силы и своими законами движения, смог понять его до конца. Догадки не приносили пользы, пока не появился Ньютон со своим чётким видением всей картины. Именно поэтому и он, и Эйнштейн после него сумели фундаментально изменить человеческие представления о мире.

В работе Эйнштейна отсутствовал не только список ссылок на другие публикации. Обычно авторы научных статей благодарят людей, которые помогли им своими советами или обсуждениями. Но Эйнштейн в своём патентном бюро в Берне был одиночкой, неизвестным в научных кругах. В конце работы он упомянул лишь одного человека, написав: «Моему другу и коллеге Мишелю Бессо, который всегда был рядом во время моей работы над вопросами, поднятыми в этой статье. Я благодарен ему за множество ценных замечаний».

Пространство-время

Тот факт, что вся Вселенная построена на фундаменте световой

скорости, имеет более далеко идущие последствия, чем различие времени и пространства для разных людей. Всё гораздо серьезнее. Время одного человека — не то же самое, что время и пространство другого человека, а ваше пространство отличается от пространства и времени другого.

В самой медленной полосе вселенского движения, где проходит наша жизнь, это не очевидно, но вы бы определённо это заметили, если разогнались бы до скорости, близкой к световой. Время и пространство — не просто резина, которую можно растягивать до бесконечности. Они могут переходить друг в друга. Всё потому, что они представляют собой две стороны одного и того же явления: пространства-времени.

Мы привыкли считать, что в пространстве есть три измерения (с востока на запад, с севера на юг и сверху вниз), а во времени — только одно (из прошлого в будущее). Но на самом деле все эти измерения сводятся к одному пространству-времени. Будучи жителями трёхмерного пространства, мы не можем воспринимать четырёхмерное пространство-время во всей его полноте. Вместо этого мы видим лишь тени четырёхмерной реальности. Одну из них отбрасывает время, а ещё три — пространство.

Когда Эйнштейн учился в Швейцарской федеральной политехнической школе, математику ему преподавал профессор по имени Герман Минковский. Известно, что поначалу он называл своего студента «ленивым псом», но потом распознал в нём гения. Кроме того, он понял кое-что, чего сам Эйнштейн поначалу не замечал. Его теория объединила пространство и время. «С этого момента время и пространство сами по себе уйдут в тень, и лишь их союз сможет выжить», — говорил Минковский.

Британский математик и коллега Стивена Хокинга Роджер Пенроуз писал: «Самый главный урок, который даёт нам теория относительности, состоит в том, что концепции времени и пространства нельзя рассматривать независимо друг от друга. Их необходимо сочетать, чтобы получить четырёхмерную картину явления. Теперь мы описываем явления в контексте пространства-времени». [\[138\]](#)

Если пространство-время существует и в нём время имеет общие характеристики с пространством, а пространство — с временем, значит, события, происходящие во Вселенной, можно отобразить растянутыми на четырёхмерной карте, как карта ландшафта растягивается на двумерной. Мы находимся внутри этой карты, и потому время для нас течёт. Но если взглянуть на эту карту снаружи глазами Эйнштейна, мы увидим, что оно неподвижно. На ней сосуществуют все события, от Большого взрыва до

гибели Вселенной. Жизнь каждого человека представляет собой цепочку таких событий, или «мировую линию», как говорят физики, и отмечена на карте полосой.

«Вещественный мир не происходит, он просто есть, — писал в 1949 году немецкий физик Герман Вайль. — Часть этого мира оживает лишь для моего взгляда и сознания, движущегося по мировой линии вместе с моим телом; оживает как зыбкая картина пространства, которое постоянно изменяется со временем». Вайль косвенно признаёт, что наше ощущение текущего времени не имеет физического объяснения. Дело только в биологии и в том, как наш мозг воспринимает реальность.^[139] «Реальность — это всего лишь иллюзия, пускай и очень упрямая», — говорил Эйнштейн.

Идея о том, что все события сосуществуют на четырёхмерной карте пространства-времени, стала для Эйнштейна некоторым утешением, когда его близкий друг Бессо умер в 1955 году. «Он ушёл из этого странного мира, немного опередив меня, — писал Эйнштейн семье покойного. — Но это ничего не значит. Люди вроде нас, те, кто верит в физику, понимают, что различия между прошлым, настоящим и будущим — это только упрямая иллюзия».

Масса и энергия

Пространство и время служат основаниями практически для всех концепций физики, и как только выяснилось, что полагаться на них нельзя, это затронуло и множество других физических понятий. Возьмём, к примеру, электрические и магнитные поля. Как время и пространство являются аспектами одного и того же явления, так и электрические и магнитные поля оказались проявлениями одного и того же — электромагнитного поля. На самом деле идея Эйнштейна устранила парадокс в теории Максвелла.

Согласно Максвеллу, если вы движетесь рядом с электрическим зарядом, например электроном, таким образом, что относительно друг друга остаётесь в состоянии покоя, вы ощущаете электрическое поле. Если же электронный заряд движется относительно вас, вы испытываете на себе влияние электрического *и магнитного* полей. Соответственно, если вы движетесь параллельно движению магнита, вы почувствуете магнитное поле, а если магнит движется относительно вас — магнитное *и электрическое* поле.

Как это возможно? Почему, если смотреть с одной точки зрения, электрическое или магнитное поле существует, а если с другой, то исчезает? Эйнштейн понял, что ответ может быть только один. Электрическое и магнитное поле — это всего лишь различные проявления одной сущности, электромагнитного поля. Сколько проявлений вы видите, зависит от вашей скорости движения относительно источника электромагнитного поля. Но Эйнштейн не просто показал, что электрическое и магнитное поле — это две стороны одной медали, равно как и пространство и время. Он также продемонстрировал, что масса и энергия тоже являются двумя частями одного целого.^[140] Это объединение можно назвать величайшим выводом из теории относительности.

$$E = mc^2$$

К моменту публикации статьи Эйнштейна об основах относительности 28 сентября 1905 года в журнале *Annalen der Physik* его редактор получил от Эйнштейна дополнение к статье на трёх страницах. В нём-то^[141] и содержалась, вероятно, самая известная физическая формула: $E = mc^2$.

Это был невероятный и неожиданный вывод. Из него следовало, что масса представляет собой всего лишь ещё одну форму энергии наряду со звуковой, тепловой или электрической. Её отличительной особенностью является только максимальная компактность. Формула Эйнштейна, в которой масса тела m умножается на квадрат очень большого числа c , скорости света, показывает нам, что даже небольшая масса содержит в себе огромное количество энергии, E .

Фундаментальная характеристика нашего мира состоит в том, что одна форма энергии может быть конвертирована в другую, скажем, электричество — в свет лампочки или химическая энергия пищи — в кинетическую энергию ваших мышц. И масса-энергия не исключение из этого правила. Её тоже можно превратить в другие типы энергии, например в тепло и свет. Чудовищное доказательство этому было приведено в августе 1945 года в японских городах Хиросима и Нагасаки.

Но формулу $E = mc^2$ можно прочитать и в другом направлении. Не только масса является формой энергии, но и энергия имеет массу. И в данном случае мы говорим обо всех видах энергии. Масса есть у энергии звука, у тепла, у химической энергии и, что самое важное, у энергии кинетической.

Любое тело имеет собственную массу, так называемую массу покоя.

Кроме того, оно приобретает массу при движении. Иными словами, если разогнать тело, оно станет более массивным. Когда вы бежите за автобусом, вы весите больше, чем когда ждёте его на остановке. Чашка кофе весит больше, пока напиток в ней горячий, потому что температура — это показатель движения на микроуровне, а молекулы в кофе движутся быстрее, пока кофе не остыл. Разумеется, такой прирост массы можно увидеть, только когда тело движется со скоростью, близкой к скорости света, а в повседневной жизни им можно пренебречь.

Но когда тело набирает разгон и становится более массивным, его труднее сдвинуть с его траектории. Если бы хоть одно материальное тело разогналось до скорости света, оно приобрело бы бесконечную массу, что невозможно. Во Вселенной просто нет столько энергии. Здесь-то и кроется ответ на вопрос, почему нельзя поймать солнечный луч. ^[142] Одно явление цепляется за другое, и в итоге формируется прекрасное полотно теории Эйнштейна.

Для света, не имеющего массы покоя и способного двигаться на максимальной скорости в нашей Вселенной, время не просто замедляется, а останавливается полностью. Рождение и смерть Вселенной кажутся ему происходящими одновременно. Украинский математик Юрий Иванович Манин говорил: «Единственное, что удерживает нас на месте в пространстве-времени, — это наша масса покоя. Без неё мы двигались бы на скорости света и время и пространство потеряли бы для нас всякий смысл. В мире света нет ни точек пространства, ни мгновений времени. Существа, состоящие из света, жили бы нигде и никогда. Лишь поэзия и математика могут рассуждать о таких вещах».

Выводы о теории относительности

Специальная теория относительности подвинула в сторону ньютоновскую концепцию абсолютного времени и пространства. Ньютоновская физика оказалась неверным, хотя и поразительно убедительным отображением реальности. Но, несмотря на невероятный успех специальной теории относительности в изменении представлений людей об окружающем мире, у неё были свои недочёты.

Во-первых, она описывала измерение пространства и времени для людей, движущихся с постоянной скоростью относительно друг друга. Только так на них распространяются одинаковые законы физики, а именно одни и те же законы движения и оптики (в частности, постулат о

постоянстве скорости света). Проблема в том, что люди редко движутся относительно друг друга с постоянной скоростью. В реальном мире их скорость меняется. Например, машина может притормозить на красный свет, а на зелёный рвануть вперёд. Ракета разгоняется ещё сильнее, пока не приобретёт скорость, необходимую для движения по орбите.

Задача, стоявшая перед Эйнштейном, была ясна. Нужно было понять, как измеряются пространство и время для людей движущихся с различной скоростью относительно друг друга, так чтобы на всех них распространялись одни и те же законы физики. Эти законы должны быть едиными вне зависимости от того, как человек движется: падает, вращается или сидит, вжавшись в кресло, в резко стартующей машине. Специальную теорию относительности нужно было превратить в общую.^[143]

В этом желании Эйнштейна не было ничего необычного. Для того чтобы законы физики приобрели универсальный статус, они не должны зависеть от точки зрения наблюдателя. Движемся мы мимо магнита с постоянной скоростью или с ускорением — это не должно играть никакой роли. Закон магнетизма должен оставаться неизменным.

Но у специальной теории относительности были и другие проблемы, помимо ускорения. Например, она не сочеталась с законом всемирного тяготения Ньютона.

По сути, этот закон описывает, как значение силы притяжения меняется при увеличении расстояния до тела, обладающего массой, к примеру Солнца. Это можно переформулировать так: притяжение массивного тела ощущается на любой дистанции *мгновенно*, а это равнозначно заявлению о том, что гравитация движется со скоростью света. Однако, если верить специальной теории относительности, ничто, даже сила притяжения, не может преодолеть космический потолок скорости, то есть скорость света.

Закон всемирного тяготения Ньютона и специальная теория относительности Эйнштейна вступают в наиболее очевидный конфликт в гипотетическом сценарии, при котором наше Солнце исчезает. Разумеется, подобное событие вряд ли произойдёт! Но если бы это случилось, то, согласно Ньютону, Земля тут же заметила бы это и улетела в космос. Если же верить Эйнштейну, то она спокойно оставалась бы на своём месте в течение того времени, которое требуется солнечному свету, чтобы достигнуть нашей планеты. Лишь через 8,5 минуты мы бы поняли, что Солнца больше нет, — и Земля покинула бы свою орбиту.

Эйнштейн установил, что единственный способ включить скорость света как предел допустимой скорости в закон всемирного тяготения —

использовать понятие поля. Оно было введено английским учёным и первооткрывателем электричества Майклом Фарадеем в начале XIX века. ^[144] Подходя к магниту с куском железа в руках, Фарадей чувствовал, как на металл действует невидимая сила притяжения, которая формирует вокруг магнита силовое поле. Когда же он рассыпал металлическую стружку вокруг магнита, то смог даже разглядеть линии этой силы.

По мнению Фарадея, магнит не влияет с определённой силой непосредственно на кусок железа в его руке. Вместо этого он распространяет вокруг себя магнитное поле, подобно лучу-транспортёру в «Звёздном пути», а это поле, в свою очередь, воздействует на железо. Кажется, будто разница невелика. Но эта гипотеза не только утверждает, что поле существует в физической реальности (в случае с электромагнитным полем проходящая через него вибрация является электромагнитной волной (светом)), но и признаёт, что оно может распространяться с определённой скоростью. ^[145]

По аналогии с электромагнетизмом Эйнштейну нужно было создать такую теорию, в рамках которой масса была бы источником гравитационного поля, а уже это поле воздействовало бы на другие объекты, обладающие массой. Что самое важное, это поле должно было бы распространяться с определённой скоростью, которая вписывалась бы в космический лимит.

Однако создание теории гравитационного поля, совместимой со специальной теорией относительности, было ещё не самой сложной из задач Эйнштейна. Третья из его проблем была связана с тем, что источником притяжения в ньютоновской теории была масса. Но Эйнштейн уже выявил, что все формы энергии имеют эффективную массу и, следовательно, силу притяжения. Соответственно, конечным источником гравитации должна быть не масса, а энергия.

Эйнштейн почти наверняка осознавал эти недочёты специальной теории относительности после завершения своей статьи в 1905 году. Но решающей стадии его затруднения достигли в октябре 1907 года, когда немецкий физик Йоханнес Штарк предложил ему сделать краткий пересказ его теории для журнала *The Yearbook of Radioactivity and Electronics*.

В то время Эйнштейн всё ещё работал в патентном бюро, а 1 апреля 1906 года ему даже был присвоен ранг технического инспектора II класса. Трудясь над статьёй после работы, он управился с ней за два месяца и 1 декабря 1907 года передал её Штарку. В первых четырёх разделах приводились базовые идеи специальной теории относительности, а также

объяснялось, что она значит для времени, места, массы и энергии. Пятая часть была озаглавлена «Принцип относительности и гравитация».

Пока другие физики из всех сил пытались понять запутанные идеи специальной теории относительности, Эйнштейн уже понимал, что это только начало. В письме своему другу Конраду Хабихту в конце декабря он признавался, что работает над новой концепцией относительности, хотя пока у него ничего не выходит.^[146]

Это были прозорливые слова. Эйнштейну потребуется ещё восемь лет, чтобы включить в свой принцип относительности гравитацию и создать общую теорию относительности. Возможно, это заняло бы у него ещё больше времени, если бы не озарение, которое посетило его, пока он смотрел в окно патентного бюро.

Для дополнительного чтения

Bais S. Very Special Relativity. — Cambridge, MA: Harvard University Press, 2007.

Einstein A. Relativity: The Special and General Theory. — London: Folio Society, 2004.

Fölsing A. Albert Einstein. — London: Penguin, 1998.

Jaffe B. Michelson and the Speed of Light. — Garden City, NY: Anchor Books, 1960.

Overbye D. Einstein in Love: A Scientific Romance. — London: Viking, 2000.

Pais A. «Subtle is the Lord...»: The Science and the Life of Albert Einstein. — Oxford: Oxford University Press, 1983.

6. Ода падающему человеку

Как Эйнштейн понял, что сила притяжения — всего лишь иллюзия и что на самом деле существует только искривлённое пространство-время.

Если физик, наблюдая за птицами, упадёт с обрыва, он не будет волноваться за свой бинокль, ведь тот упадёт вместе с ним.

Сэр Герман Бонди [\[147\]](#)

В каком-то смысле гравитации не существует; планеты и звёзды движутся из-за деформации времени и пространства.

Митио Каку [\[148\]](#)

Падающий человек не чувствует собственного веса. Это осознание, посетившее Эйнштейна в 1907 году, стало краеугольным камнем, на котором он построил свою новую революционную теорию гравитации. К сожалению, как и в случае с его идеей о поимке луча света, мы не знаем точных обстоятельств, которые вызвали это осознание. Мы можем лишь предполагать. Нам известно, что в то время Эйнштейн жил и работал в швейцарской столице. Он писал: «Прорыв произошёл неожиданно, когда я сидел за столом в своём патентном бюро в Берне».

Я представляю себе Эйнштейна на рабочем месте читающим последнюю патентную заявку за день:

«47242

Allgemeine Elektrizitätsgesellschaft, Берлин

Nägeli & Co., Берн

Машина переменного тока».

Он вытирает кончик своей ручки о промокательную бумагу, а затем берёт свежий бланк Швейцарского федерального патентного бюро. Ему

достаточно пары секунд, чтобы сформулировать, что он хочет сказать. Затем он быстро пишет: «Пункт 1. Патентная заявка оформлена неверно и неточно».^[149]

До пункта 2 он не доходит.

Крик пронизывает его тело, как удар электричества. Эйнштейн вскакивает на ноги и видит, как с черепичной крыши дома напротив срывается рабочий, в отчаянии размахивая руками и неизбежно набирая скорость. За секунду до того, как достичь края крыши и пролететь пять этажей навстречу своей смерти на мостовой улицы Герфенгасс, рабочий успевает схватиться за флагшток. Кажется, что он слишком слаб, чтобы удержать человека, но — чудо из чудес — он лишь гнётся, а не ломается.

Я представляю себе, как Эйнштейн наблюдает за этой драмой, происходящей на крыше бернского Управления почты и телеграфа. Только когда он убеждается, что коллеги оттащили работника от края и он в безопасности, Эйнштейн с облегчением возвращается за свой стол. Его сердце всё ещё сильно бьётся, и ему нужно время, чтобы сосредоточиться на патентной заявке № 47242.

Не слишком ли резко он отозвался о ней? Может быть, на него повлияли горькие воспоминания о том, как когда-то в Мюнхене его отец, владелец компании *Elektrotechnische Fabrik J. Einstein & Cie*, безуспешно пытался конкурировать с другими предприятиями своей отрасли, включая и AEG, за поставку энергии для освещения городского центра? Нет, он уверен, что дело не в месте, а лишь в объективности. Во втором пункте он аккуратно и более официальным языком описывает все недочёты, которые видит в патентной заявке № 47242. Затем он промакивает записи, откидывается на спинку кресла и с удовлетворением смотрит на пустой поддон для бумаг.

Его босс и спаситель Фридрих Халлер уехал по делам в Цюрих, а его сосед по офису и друг Йозеф Заутер, пользуясь отсутствием начальства, отправился в Беренграбен, чтобы забрать забытый там зонтик, а заодно купить подарок жене на их годовщину. Эйнштейн чувствует укол совести: он ни разу ещё не дарил Милеве подарков по такому поводу.

В кабинете пусто и тихо. Я представляю себе, как Эйнштейн размышляет, откинувшись на спинку кресла. Он вспоминает драматичное событие, свидетелем которого стал, и проигрывает в голове его альтернативные концовки. Рабочий соскальзывает, хватается за флагшток, и тот сгибается под его весом, но удерживает. Рабочий соскальзывает, хватается за флагшток, тот сгибается под его весом, а потом резко разгибается, выбрасывая рабочего в свободный полёт.

Эйнштейн представляет себе, что произошло бы, если бы флагшток не удержал человека, и у него сводит живот. Он хватается за стол и пытается восстановить дыхание. Говорят, что в таких обстоятельствах время замедляется, почти останавливается, и перед глазами падающего человека успевают пролететь вся жизнь. Но что, если падать можно было бы бесконечно?

Он представляет себе падение в месте, где нет ни воздуха, ни ветра, способных остановить его движение. Он падает через время и пространство, через звёзды, небеса и всё, что между ними. Он падает до тех пор, пока не забывает о падении. [\[150\]](#)

Внезапно, как молния, к нему приходит озарение.

Он вскакивает на ноги, отталкивая кресло назад, понимая, что только что нашёл краеугольный камень, на котором можно построить новую реальность. В старости он назовёт это осознание самой радостной мыслью в своей жизни. Всё настолько очевидно, что он смеётся вслух в пустой комнате.

Падающий человек не ощущает своего веса!

Действительно ли Эйнштейн видел падающего с крыши рабочего и это придало ему вдохновения? Или какое-то другое, менее драматичное событие вызвало к жизни эту мысль? Мы можем лишь воображать, но никогда не узнаем. Эйнштейн рассказывал только о том, что однажды, в 1907 году, ему в голову пришла, казалось бы, совершенно невинная идея, которая позволила ему в итоге перевернуть ньютоновские представления о реальности.

Но почему именно мысль о падающем человеке, не чувствующем своего веса, оказалась такой важной? Представьте себе ситуацию.

Человек едет в лифте, как вдруг трос обрывается. [\[151\]](#) Пассажир тут же оказывается в свободном падении. Предположим, всё это время он стоял на весах (да, это не самый реалистичный пример). Только что весы показывали 70 килограммов, а через секунду — уже ноль. Именно это и означает не чувствовать своего веса при падении.

Согласно Ньютону, из-под воздействия гравитации вырваться невозможно, потому что она лишь ослабевает с расстоянием, но никогда не исчезает полностью. Согласно Эйнштейну, гравитацию легко можно обойти. Всё, что для этого нужно, — свободное падение. Гравитация исчезает, и человек теряет свой вес.

Ситуация с падающим человеком аналогична ситуации с человеком, находящимся в открытом космосе вдали от притяжения любой из планет.

Таким образом, возникает связь между законом всемирного тяготения и специальной теорией относительности, потому что в обоих описанных случаях действует последняя.

Стрелка на весах в падающем лифте остаётся на нуле, потому что одновременно с тем, как человек падает на весы, весы падают из-под его ног. Иными словами, человек падает с той же скоростью, что и весы, хотя он весит 70 килограммов, а весы — ощутимо меньше.

Тот факт, что все предметы (а не только 70-килограммовые люди и весы) падают под воздействием силы притяжения с одинаковой скоростью, был впервые отмечен Галилеем в XVII веке. Согласно легенде, он сбрасывал тяжёлые и лёгкие предметы с вершины Пизанской башни, и они касались земли одновременно.

На Земле подобные эксперименты усложняет сопротивление воздуха, которое замедляет падение предметов, имеющих большую площадь. Но в 1972 году командир «Аполлона-15» Дейв Скотт повторил опыт Галилея на Луне, где, разумеется, воздуха нет. Он сбросил молоток и перо с одинаковой высоты, и два облачка лунной пыли в месте их падения поднялись одновременно.

Тот факт, что под влиянием силы притяжения все тела падают с одинаковой скоростью, на самом деле достаточно необычен. Представьте себе, что будет, если приложить одинаковую силу к предметам с большой и малой массой, например к полному еды холодильнику и деревянной табуретке. Повседневный опыт подсказывает нам, что ускорение холодильника будет меньше, ведь большую массу сложнее столкнуть с места, чем массу поменьше.^[152] Большие массы сильнее сопротивляются движению, то есть имеют большую инерцию. По сути, это сопротивление движению и есть основа понятия «масса».

Странность гравитации состоит в том, что, даже несмотря на большие усилия, которые нужно приложить, чтобы сдвинуть с места большую массу, сила притяжения как будто подстраивается под неё таким образом, что массивный и лёгкий предметы всё равно падают с одинаковой скоростью. Тело, которое в два раза массивнее другого тела, испытывает в два раза большее влияние силы притяжения. Если тело массивнее другого в три раза, то и значение силы притяжения для него тоже будет выше в три раза, и так далее. Сбросьте холодильник и табуретку с вершины Пизанской башни (а ещё лучше на Луне, чтобы не задеть людей и избежать сопротивления воздуха), и они упадут одновременно, как молоток и перо, брошенные Дейвом Скоттом.

Технически сопротивление тела попыткам столкнуть его с места

зависит от его инерционной массы m_i . И это отражено во втором законе Ньютона, утверждающем, что если тело подвержено воздействию силы F , то его ускорение равняется F/m_i . Сила притяжения, влияющая на тело, определяется его гравитационной массой m_g .

Тело, инерционная масса которого в два раза больше инерционной массы другого тела, будет в два раза сильнее сопротивляться попыткам сдвинуть его с места. При этом оно падает с той же скоростью, что и тело меньшей массы, так как на него воздействует увеличенная в два раза сила тяжести. Иными словами, сопротивление тела движению, зависящее от инерционной массы, действует синхронно с силой притяжения, зависящей от гравитационной массы. Значит, можно сказать, что гравитационная масса m_g и инерционная масса m_i идентичны.

Со времён Галилея учёные полагали, что сопротивление тела движению и сила тяжести — это две совершенно разные вещи. И действительно, они не кажутся связанными между собой. Требовалась гениальность Эйнштейна, чтобы понять, что все эти учёные ошибались, а вернее, не видели того, что было прямо у них под носом. Тот факт, что падающий человек не чувствует своего веса (или, иными словами, что все тела под влиянием силы тяжести имеют одинаковое ускорение), может означать лишь одно. Гравитационная масса и инерционная масса — это одно и то же. Гравитация сама по себе *является* ускорением.

Как уже упоминалось ранее, в 1907 году Эйнштейн знал, что ему нужно расширить свою теорию относительности, чтобы она могла распространяться не только на тела, движущиеся равномерно относительно друг друга, но и на ускоряющиеся предметы. Ему также требовалась новая теория гравитации, так как ньютоновские законы не сочетались с общей теорией относительности. Каким удивительным открытием стало то, что общая теория относительности автоматически являлась и теорией гравитации! Словно кто-то запустил рекламную акцию «Купи одну теорию и получи вторую в подарок».

Требуется некоторое время, чтобы осознать простоту и ценность идеи Эйнштейна. Если сила тяжести и ускорение — это одно и то же, то гравитации не нужно подстраиваться под тела различной массы, чтобы они падали на землю одновременно. Это происходит естественно и автоматически, и вот почему.

Путешествие на ракете

Представим себе астронавта, который просыпается в космическом корабле вдали от притяжения Земли или любой другой планеты. Ускорение ракеты составляет $1 g$, поэтому его ноги прочно стоят на полу корабля и он может спокойно ходить по нему, как по поверхности Земли.^[153] Если в иллюминаторы ничего не видно, то наш астронавт вполне может подумать, что он находится в обычной комнате на своей планете. Эйнштейн пошёл ещё дальше и отметил, что астронавт никак не сможет доказать, на Земле он сейчас или в космосе. На практике оказывается, что гравитация неотличима от ускорения.

Теперь давайте предположим, что наш астронавт (из любопытства или от скуки) решил повторить эксперимент Галилея и Дейва Скотта. Он берёт в руки молоток и перо, поднимает их на высоту своих плеч и отпускает. Они падают с одинаковой скоростью и достигают пола одновременно. Разумеется, астронавт, не знающий, что он на космическом корабле, приписывает это силе тяжести.

Но мы с вами знаем больше. Нам известно, что он сейчас далеко от Земли и других планет. На самом деле, когда он выпустил из рук молоток и перо, они остались неподвижно висеть в воздухе, а пол космического корабля *начал двигаться по отношению к ним с ускорением $1 g$ и одновременно достиг молотка и пера.* Иначе и быть не могло.

Этот пример показывает нам, как просто на самом деле объясняется одновременное падение всех массивных объектов, если мы принимаем гравитацию и ускорение за одно целое. Гравитации действительно нет необходимости подстраиваться под каждую массу. Неудивительно, что Эйнштейн назвал эту мысль самой радостной в своей жизни.

Он понял, что сила тяжести отличается от других сил. На самом деле это иллюзия, которая возникает, когда мы ускоряемся и не осознаём этого. Идею того, что гравитация неотличима от ускорения, Эйнштейн сформулировал в своём принципе эквивалентности, который стал основой его теории гравитации.

Но почему мы ошибочно принимаем ускорение за силу тяжести? Эйнштейн понял, что ответ заключается в том, что мы не видим всей картины, как астронавт в своём корабле с закрытыми иллюминаторами. На самом деле мы все живём в искривлённом пространстве-времени. Это требует некоторых объяснений.

Линейное ускорение подразумевает искривлённое пространство

Наш астронавт на борту космического корабля без иллюминаторов из любопытства или от скуки решает провести ещё один эксперимент. На этот раз ему потребуется лазерная указка. Он берёт её и кладёт на полку в одном метре от пола. Затем он включает лазер так, чтобы его луч шёл горизонтально, параллельно полу, а на противоположной стене появилась яркая синяя точка. Затем наш астронавт подходит к ней и с удивлением замечает, что расстояние между ней и полом меньше одного метра. Пока луч пересекал комнату, он искривился вниз. [\[154\]](#)

Мы с вами знаем, что ракета движется с ускорением в $1\ g$. Пока луч двигался через комнату, пол ускорился ему навстречу. Поэтому нет ничего удивительного в том, что отметка от него на стене оказалась ниже. Однако наш изумлённый астронавт полагает, что на него воздействует сила притяжения на поверхности Земли, и делает вывод, что путь света искривился в её присутствии. То есть *гравитация может искривлять свет*.

Но почему она это делает? Одной из определяющих характеристик света является то, что он всегда движется по кратчайшему пути между двумя точками.

Вообразите себе туриста, которому нужно пройти от одного холма до другого по дикой пересечённой местности. Опытный путешественник выберет самую короткую тропу. Теперь давайте представим, что женщина на лёгком летательном аппарате пролетает над той же местностью. Она может видеть передвижения туриста, потому что на нём заметная одежда, и его путь кажется ей неровным и петляющим.

Этот пример призван проиллюстрировать тот факт, что кратчайшее расстояние между двумя точками не всегда должно быть прямым. Обычно это неровная и петляющая тропа. Иными словами, кривая.

Данное утверждение заставляет нас по-другому посмотреть на ситуацию с астронавтом и его лазером, который изгибается вниз. Единственная ситуация, при которой кривая являлась бы кратчайшим путём, — это если бы пространство космического корабля было искривлено, прямо как ландшафт, по которому путешествует турист.

Гравитация искривляет свет, потому что гравитация — это синоним искривлённого пространства. Более того, она *сама является искривлённым пространством*. Сложно представить себе теорию, дальше отстоящую от ньютоновских представлений о гравитации.

Угловое ускорение подразумевает искривлённое пространство

Пример с космическим кораблём иллюстрирует ускорение по прямой. Но мы уже выяснили, что любое ускорение связано с искривлённым пространством. Представьте себе, к примеру, вращающуюся по кругу карусель.

Любое тело, изменяющее свою скорость или направление движения, считается ускоряющимся. Наша карусель делает именно это. Несмотря на то что естественным движением для каждого её элемента является перемещение по прямой с постоянной скоростью, их постоянно заставляют сходить с этого пути и двигаться по кругу.

Теперь давайте мысленно разложим линейки длиной один метр вокруг карусели и по её диаметру, так чтобы концы линеек касались друг друга. Если диаметр карусели составляет пять метров, нам потребуется пять метровых линеек, чтобы проложить его, и ещё 16, чтобы разложить их по кругу. Каждый школьник знает, что длина окружности диаметром d рассчитывается как $\pi \times d$.

А сейчас представьте себе, что карусель вращается не просто быстро, а очень быстро, так, что все точки на её периферии перемещаются со скоростью, близкой к скорости света. Если верить специальной теории относительности Эйнштейна, линейки укорачиваются по направлению их движения. Теперь для того, чтобы разложить их по окружности карусели, потребуется 20, или 50, или даже 100 линеек в зависимости от скорости движения. Что касается линеек, которыми выложен диаметр карусели, то они перемещаются перпендикулярно своей длине, а не в её направлении. Соответственно, они не сокращаются, и для того, чтобы выложить радиус карусели, по-прежнему достаточно пяти линеек.

Как же объяснить то, что окружность карусели оказывается гораздо больше чем $\pi \times d$? Дело в том, что этой формулой описывается только окружность, нанесённая на плоскую поверхность вроде листа бумаги.

Теперь давайте рассмотрим окружность, нарисованную на сфере. Её длина меньше чем $\pi \times d$. Длина окружности, нанесённой на поверхность, которая искривлена в другую сторону (например, на прогибающуюся вниз батутную сетку), наоборот, будет больше $\pi \times d$. Таким образом, тот факт, что длина окружности карусели превышает $\pi \times d$, объясняется просто: пространство, занимаемое каруселью, искривлено.

Итак, какой бы тип ускорения (по прямой линии или по кругу) мы ни рассматривали, результат остаётся прежним. Ускорение связано с искривлённым пространством. А раз гравитация и есть искривлённое пространство, то с помощью ускорения вращения можно имитировать силу тяжести. Этот эффект показан в фильме «Космическая одиссея 2001 года».

Космическая станция на земной орбите вращается как огромное колесо, а астронавты могут свободно перемещаться по её окружности, удерживаемые искусственной гравитацией.

Но на самом деле гравитация — это чуть больше, чем просто искривлённое пространство.

В случае специальной теории относительности пространство одного человека становилось временем и пространством другого. Именно это осознание и натолкнуло Германа Минковского на идею, что пространство и время в действительности лишь составляющие одного целого, пространства-времени. Соответственно, сила тяжести искривляет не столько пространство, сколько *пространство-время*.

Концепция пространства-времени, разработанная Минковским, оказалась ключом к пониманию гравитации, и даже гений Эйнштейна не мог этого предвидеть.

Искривлённое время

Поскольку гравитация представляет собой искривлённое пространство-время, она играет в игры не только с пространством (например, изгибая пути движения световых лучей), но и со временем.

Представьте себе часы, которые состоят из горизонтального лазерного луча, отражающегося в зеркалах. Каждый раз, когда луч попадает на зеркало, наши часы тикают. Если они располагаются на поверхности Земли, то луч не перемещается между зеркалами по идеально прямой линии, а движется по изогнутому пути, потому что гравитация искривляет свет.

Теперь вообразите себе двое таких часов, при этом второй механизм установлен высоко над землёй. Наземные часы будут испытывать чуть большее влияние силы гравитации, так как они находятся ближе к основной массе Земли. Это значит, что свет, отражающийся от зеркал нижних часов, будет перемещаться по более изогнутому пути, чем в верхних. Чем сильнее искривлена траектория, тем больший путь проделывает свет и тем длиннее промежуток между двумя «делениями» таких часов. Следовательно, наземные часы идут медленнее тех, которые находятся над землёй. Иными словами, *в присутствии сильной гравитации время замедляется.* [\[155\]](#)

Это означает, что люди на первом этаже любого здания стареют медленнее, чем на последнем, ведь они находятся ближе к основной массе

Земли, а значит, на них действует чуть большая сила притяжения. В 2010 году физики из Национального института стандартов и технологий США сумели доказать, что, даже поднявшись на одну ступеньку лестницы, вы начнёте стареть быстрее, чем люди ниже вас.^[156] Это почти незаметный эффект, ведь сила притяжения Земли достаточно слаба. Тем не менее его можно измерить с помощью двух высокоточных атомных часов.

Если вы думаете, что этот странный эффект не играет роли в вашей повседневной жизни, задумайтесь ещё раз. Смартфоны и навигационные устройства получают данные от спутников системы глобального позиционирования, которые вращаются по вытянутым орбитам вокруг Земли. На спутниках системы GPS установлены часы, и когда спутники максимально приближаются к нашей планете, эти часы замедляют ход. Если бы ваши электронные устройства не уравнивали эту задержку, спутники не сумели бы определить ваше местонахождение относительно элементов системы GPS.

Иными словами, многие из нас ежедневно и неосознанно принимают участие в эксперименте для проверки общей теории относительности. Если бы она была неверна, система GPS ошибалась бы на 50 метров каждый день. Но на самом деле за десять лет отклонение составляет всего пять метров, что показывает нам, как точна общая теория относительности.^[157]

Замедление времени под воздействием гравитации проявляет себя ещё одним способом. Представим, что наш астронавт на самом деле находится в комнате на Земле, а не на космическом корабле. Он берёт синюю лазерную указку, кладёт её на пол и направляет луч на потолок. И тут происходит нечто необычное. Точка на потолке вовсе не синяя, а красная. Всё потому, что источник света находится ближе к Земле, где гравитация сильнее, а часы идут медленнее. Осцилляция (колебание) света, движущегося к потолку и отражающегося от него, похожа на тиканье часов, а значит, тоже замедлена. Учитывая, что цвет — это всего лишь показатель того, как быстро осциллирует свет, а красный свет вибрирует меньше, чем синий, спектр замедленного света смещается к красному.

На Земле гравитационное красное смещение света, движущегося вверх, крайне мало. Его совершенно точно недостаточно для того, чтобы превратить красный цвет в синий (мне пришлось немного преувеличить). Тем не менее такое смещение можно измерить высокоточными приборами. В ходе одного из таких экспериментов, имевших место в 1959 году, американские учёные Роберт Паунд и Глен Ребка наблюдали гравитационное красное смещение света, движущегося вверх по башне

высотой 22,6 метра. Это стоило им немалых усилий, так как смещение на таких небольших расстояниях сложно заметить. Однако его можно легко увидеть в свете белых карликов, плотных звёзд с очень высокой поверхностной гравитацией.

Гравитация воздействует на время, потому что она представляет собой не просто изогнутое пространство. Она — это искривлённое пространство-время, в котором искривление пространства отвечает за изменение пути движения света, а искривление времени — за отстающие часы.

Искривлённое пространство-время

Для того чтобы понять, что мы живём в искривлённом пространстве-времени, которое и является гравитацией, понадобился гений Эйнштейна. До него никто не выдвигал подобного предположения, потому что оно далеко не очевидно.

Вообразите себе расу разумных муравьёв, которые живут на поверхности батута и не могут вырваться из его двумерной плоскости. Муравьи могут двигаться на север, юг, запад и восток, но не имеют представления о третьем измерении, то есть вверх и вниз. Теперь предположите, что на батут кто-то положил шар для боулинга. Муравьи замечают, что, если попытаться перейти с одной стороны батута на другую, их пути искривятся и приведут их к шару. Ситуация требует объяснений, и они их находят. Всё дело в том, что шар их притягивает. Возможно, они даже назовут эту силу притяжения гравитацией.

Но, глядя на батут сверху, из третьего измерения, мы увидим иную картину. Очевидно, что шар для боулинга заставил батут прогнуться, и в поисках кратчайшего пути с одной стороны батута на другую муравьи естественным образом движутся вокруг шара, точно так же, как наш турист по пересечённой местности. [\[158\]](#)

Мы с вами находимся в той же ситуации, что и муравьи. Так как мы живём в трёхмерном мире, мы не в состоянии постичь четырёхмерную реальность, в которой он существует. Солнце создаёт углубление в ткани пространства-времени точно так же, как шар для боулинга — в полотне батута. Поскольку мы не можем этого увидеть, мы приписываем движение Земли вокруг (если быть более точным, по эллипсу) Солнца действию силы, которая направлена от Солнца к Земле. Но на самом деле никакой такой силы, привязывающей нашу планету к Солнцу невидимой резинкой, не существует, как и не существует силы, исходящей от шара для боулинга.

Естественным движением для любого тела является перемещение по самой прямой из возможных траекторий через искривлённое пространство-время. Соответственно, Земля вращается вокруг Солнца, как шарик в рулетке. Американский физик Митио Каку пишет, что «в каком-то смысле гравитации не существует. Планеты и звёзды движутся из-за искривления пространства и времени».^[159]

Эта фраза передаёт самую суть теории гравитации Эйнштейна. Американский физик Джон Уилер описывает её так: «Материя указывает пространству-времени, как изогнуться, а изогнутое пространство-время говорит материи, как двигаться». Всё очень просто. На самом деле материю искривляет энергия, ведь масса-энергия — это лишь одна из её форм. Но это уже придирки. Фраза Уилера ёмко передаёт суть общей теории относительности.

Говоря простыми словами, вокруг Земли в пространстве-времени сформировалось углубление. Естественным движением для нас является падение на дно такого углубления, то есть к центру Земли.^[160] Но на нашем пути оказывается земная поверхность, которая препятствует этому активному движению. Мы чувствуем гравитацию как восходящую от земли силу.

Различия между ньютоновской и эйнштейновской теорией поражают. Согласно Ньютону, Земля стремится к равномерному движению по прямой, потому что именно это обычно делают тела, обладающие массой. Однако сила притяжения Солнца отклоняет Землю с траектории её естественного инерционного движения и заставляет вращаться по эллиптической орбите вокруг Солнца. Согласно Эйнштейну, Солнце искривляет ткань пространства-времени вокруг себя. Земля стремится двигаться по кратчайшему пути, потому что именно это обычно делают тела, обладающие массой. Однако в искривлённом пространстве-времени такое инерционное движение соответствует перемещению по эллипсу.

Ньютон не показал нам причину того, почему яблоко падает, а только доказал, что на яблоко и на Луну действует одна и та же сила. «Гипотез не измышляю», — писал Ньютон в своих «Началах». Эйнштейн же продемонстрировал нам, почему возникает гравитация. Земля искривляет пространство-время вокруг себя, а яблоко и Луна реагируют на это искривление.

«Предположение, что одно тело может воздействовать на другое на расстоянии, через вакуум и без какой-либо помощи и что таким образом действие силы может передаваться от одного предмета другому, кажется

мне таким абсурдным, что ни один человек, который с философской точки зрения обладает способностью мыслить, не может считать его верным», — говорил Ньютон.^[161] И это действительно абсурдно. Согласно Эйнштейну, воздействие на расстоянии осуществляется через искривлённое пространство-время. Ньютону бы понравилось это решение.

Ещё сильнее контраст между Ньютоном и Эйнштейном подчёркивают их представления о пространстве и времени. Ньютон считал пространство лишь фоном, на котором разворачиваются события космического масштаба, а время — непрерывным тиканьем вселенских часов. Но если верить Эйнштейну, таких вещей, как абсолютное время и абсолютное пространство, не существует. Пространство и время могут растягиваться и сжиматься и составляют единое целое — пространство-время. Кроме того, материя определяет форму пространства-времени, которая, в свою очередь, задаёт движение материи, изменяющее форму пространства-времени, которая определяет движение материи... Это похоже на очень сложный танец. Вселенная больше не пассивный фон, ведь пространство-время действует само по себе.

Представления Ньютона о пространстве и времени почти наверняка были прагматическими. Он признавал, что пространство можно определить исключительно как расстояние между двумя телами, что оно обязано быть «относительным». Но он также понимал, что с помощью математических инструментов, которыми он располагал, он не смог бы развить эту теорию. Тот факт, что Ньютон считал абсолютное время и абсолютное пространство достаточно хорошими концепциями для объяснения многих явлений во Вселенной, ещё раз доказывает нам его гениальность.

Голос космоса

Роль пространства-времени как актёра в огромном космическом представлении наиболее ярко проявляется в гравитационных волнах. Дело в том, что пространство-время колеблется при движении массы, а колебания вызывают волны, как камень, брошенный в пруд. Только в этом случае они расходятся по всей ткани пространства-времени.

Эйнштейн постоянно менял свою точку зрения относительно их существования. В 1916 году он был в нём уверен, потом быстро отказался от этой идеи, а затем вернулся к ней снова в 1936 году. А 14 сентября 2015 года, почти к 100-летию юбилею предсказания Эйнштейна, гравитационные волны были впервые в истории зарегистрированы на

Земле.

Представьте себе, что вы были глухим от рождения, а однажды утром проснулись и обрели слух. Точно так же чувствовали себя в этот момент астрономы. На протяжении всей истории человечества они могли лишь смотреть на Вселенную. Теперь же её можно было услышать.

СМИ любят преувеличивать важность различных явлений, но в данном случае они могли бы с полной уверенностью сказать, что открытие гравитационных волн стало самым важным событием в астрономии с момента изобретения телескопа в 1608 году. Гравитационные волны — это в буквальном смысле голос космоса.

Итак, 14 сентября 2015 года произошло нечто необычное. Во времена, когда самыми сложными организмами на Земле были бактерии, в одной далёкой-далёкой галактике сошлись в смертельном танце две огромные чёрные дыры. Одна из них была в 29 раз больше Солнца, а другая — в 36, и каждая из них двигалась со скоростью, равной половине скорости света. Сделав последний пируэт, они слились в поцелуе, и целых три солнечных массы были уничтожены и превратились в гравитационные волны. Цунами искривлённого пространства-времени помчалось вперёд с такой силой, что на мгновение его выходная мощность в 50 раз превысила мощность всех звёзд во Вселенной.

Пространство-время в миллиард миллиардов миллиардов раз прочнее, чем сталь, поэтому вибрацию в нём может вызвать только очень масштабное космическое событие, как, например, слияние двух чёрных дыр. Но эти волны, как и круги на воде, быстро затухают. Поэтому отголоски волн, которые 14 сентября 2015 года достигли Земли, были очень слабыми.

И тут на сцену вышли LIGO — лазерно-интерферометрические гравитационно-волновые обсерватории (по сути, пара огромных четырёхкилометровых установок, состоящих из лазерных лучей) в Ливингстоне, штат Луизиана, и Хэнфорде, штат Вашингтон.^[162] Четырнадцатого сентября 2015 года в 05:51 по летнему восточному времени установки в Ливингстоне, а через 6,9 миллисекунды — и в Хэнфорде удлинились и сократились на 100-миллионную долю диаметра атома.^[163] «Сигнал невероятно слаб, но его источник имеет астрономические размеры. Воздействие невероятно слабо, но награда за его обнаружение бесценна», — написала об этом Жанна Левин из Колумбийского университета в Нью-Йорке.^[164]

Сотрудники LIGO поняли, что засекли вспышку гравитационных волн,

пришедших из космоса, потому что два детектора, отстоящие друг от друга на 2500 километров, зарегистрировали одинаковое воздействие. Это исключало возможность случайного события (например, громкого хлопка дверью в радиусе десяти метров от детектора). Кроме того, физики определили происхождение волн по тому, что их частота сначала увеличивалась, а затем резко обрывалась из-за появления новой чёрной дыры. Результаты наблюдений точно совпадали с предсказаниями Эйнштейна и его общей теорией относительности.

Самое удивительное в этой ситуации то, что прежде теория Эйнштейна проверялась только в условиях очень слабой гравитации (то есть в Солнечной системе), а не вблизи чёрных дыр. Тем не менее она прошла и этот тест. Мировые СМИ сразу же написали, что Эйнштейн был во всём прав. Забавно, но на самом деле он оказался прав и не прав одновременно. Он действительно верно предсказал гравитационные волны, но зря не верил в существование ещё одного своего пророчества — чёрных дыр.

Чёрная дыра окружена воображаемой мембраной, которая обозначает точку невозврата для движущейся по направлению к дыре материи или света. Как по звону можно определить колокол, по звуку этого «горизонта событий» можно вычислить новорождённую чёрную дыру. Раз мы слышали этот звук 14 сентября 2015 года, мы можем быть уверены, что эта дыра существует.^[165]

Станции LIGO были созданы в значительной степени благодаря трём людям. Первым из них был Кип Торн из Калифорнийского технологического института, физик-теоретик, который знаменит привычкой одеваться в стиле хиппи, а также множеством пари насчёт чёрных дыр со Стивеном Хокингом (большую часть из которых он выиграл). Вторым — Райнер «Рай» Вайсс, экспериментатор из Массачусетского технологического института, который в 1940-е годы создавал в Нью-Йорке звуковые системы, а сегодня разрабатывает устройства для прослушивания космоса. Вайсс прошёл пешком по всем туннелям LIGO, изгоняя оттуда ос, крыс и прочих непрошенных гостей. Третьего члена этой команды, шотландского физика со сложной и трагической судьбой, звали Рональд Древер.

Невысокий и плотно сбитый человек, носивший свои бумаги с собой в пластиковом пакете из супермаркета и постоянно оставлявший на документах пятна чая и отпечатки жирных пальцев, Древер был гением экспериментальной физики.^[166] В то время как Торну нужно было

заполнить множество страниц вычислениями, чтобы ответить на какой-либо технический вопрос, Древер умел найти такое же решение с помощью одной простой диаграммы. К сожалению, он был абсолютно неспособен нести ответственность за работу на проекте, и в 1997 году его уволили. Расстроенный этим, он остался жить в Пасадине, неподалёку от Калифорнийского технологического института. Древер был нелюдимым холостяком, друзей в США он не завёл, и в итоге у него развилась деменция. В своей книге «Black Hole Blues» Левин рассказывает печальную историю о том, как сотрудник Калтеха Питер Голдрайх отвёз ничего не понимающего Древера в нью-йоркский аэропорт имени Кеннеди и посадил на самолёт до Глазго, где у него жил брат. Сейчас Древер находится в доме престарелых в Шотландии, и у Нобелевского комитета осталось совсем немного времени, чтобы воздать ему положенные почести.

[\[167\]](#)

LIGO — это настоящее технологическое чудо. Каждая установка состоит из двух труб диаметром 1,2 метра, согнутых в виде буквы L. По ним в абсолютном вакууме движутся мегаватты лазерных лучей. В конце каждой трубы свет отражается от 42-килограммового зеркала, подвешенного на стекловолокне толщиной всего в два человеческих волоса. Эти зеркала так хорошо отполированы, что отражают 99,999% света. Легчайшее движение зеркал сигнализирует о прохождении гравитационной волны. Эта система настолько чуткая, что её однажды вывело из строя землетрясение в Китае. «Она может прийти в движение от приливного воздействия небесных тел, проседания земли, слабейшего изменения температуры, квантовых вибраций или давления лазерного луча», — пишет Левин.

Некоторые считают, что LIGO не то, чем кажется. Левин рассказывает, как однажды летел самолётом в Батон-Руж, штат Луизиана, и когда они пролетали над установкой LIGO, его сосед рассказал, что это устройство предназначено для путешествий во времени. «По одной трубе можно попасть в будущее, а вторая отбрасывает тебя в прошлое», — сообщил он со знанием дела.

Благодаря успеху LIGO в 2016 году перед нами открылась новая эра астрономии. Мы похожи на глухого, к которому только что вернулся слух, но который пока что не умеет пользоваться им в полной мере. Он услышал дальний отголосок грома, но ему ещё предстоит познакомиться с такими звуками, как пение птиц, музыка или плач ребёнка. Кто знает, какое звучание Вселенной откроется нам в будущем благодаря LIGO и иным экспериментам с гравитационными волнами?

Несмотря на то что о регистрации гравитационных волн было официально заявлено 11 февраля 2016 года, что вызвало огромный восторг в научной среде, к тому моменту учёные уже располагали косвенными данными, подтверждающими их существование. Данные поступили от двойного пульсара под названием PSR B1913+16. В этой системе две нейтронные звезды с очень большой плотностью вращаются по спирали вокруг друг друга и в связи с этим теряют орбитальную энергию.

Нейтронная звезда формируется после взрыва массивной звезды в конце её жизненного цикла. В то время как внешние слои звезды стремительно расширяются в пространстве (мы называем это взрывом сверхновой), её ядро схлопывается, создавая очень плотную нейтронную звезду — как если бы вся масса нашего Солнца была сконцентрирована в объекте величиной с Эверест (см. дополнительную информацию о нейтронных звёздах в разделе [«Нейтронные звёзды»](#) главы 7).

Одна из нейтронных звёзд в системе PSR B1913+16 является пульсаром. Она стремительно вращается, выбрасывая в космос пучки радиоволн, как маяк. Внимательно понаблюдав за этой системой, американские астрономы Рассел Халс и Джозеф Тейлор обнаружили, что звёзды теряют орбитальную энергию точно с такой же скоростью, с которой они бы двигались, если бы излучали гравитационные волны. За это открытие Халс и Тейлор в 1993 году получили Нобелевскую премию по физике.

Математика искривлённого пространства

Для того чтобы превратить свою догадку о материи, которая искривляет пространство-время, и о пространстве-времени, которое представляет собой гравитацию, в теорию, Эйнштейну пришлось иметь дело со сложной математикой искривлённого пространства. К сожалению, во время учёбы в Высшей технической школе в Цюрихе он прогуливал лекции по математике, предпочитая возиться с батареями и конденсаторами в университетской лаборатории. Как говорил сам Эйнштейн, это была ошибка, которую он осознал слишком поздно. [\[168\]](#)

К счастью, у него был давний друг Марсель Гроссман, который учился на один курс старше его в той же Высшей технической школе и изучал математику. Именно благодаря контактам отца Гроссмана Эйнштейн и получил работу мечты в бернском патентном бюро. Но самое главное, Гроссман разбирался в геометрии искривлённых пространств, а значит, мог

научить Эйнштейна всему, что ему требовалось для выражения своих революционных идей о гравитации и пространстве-времени.

В этой области работали несколько математиков, самыми известными из которых были жившие в XIX веке Карл Фридрих Гаусс и Бернхард Риман. До них геометрия рассматривалась лишь как наука о фигурах на плоскости, основателем которой был древнегреческий математик Евклид.

[\[169\]](#) В своих «Началах», написанных в III веке до нашей эры, он перечислил пять очевидных истин о прямых и углах. Используя эти аксиомы как основание для своих логических построений, он создал множество теорем, например теорему о том, что сумма всех углов треугольника составляет 180 градусов.

Пятый постулат Евклида гласит, что параллельные линии никогда не пересекаются. Гаусс и Риман расширили этот постулат, включив в него геометрию объёмных тел, например сфер. Если нарисовать на сфере две параллельные линии, поднимающиеся вверх от экватора, то они сойдутся на Северном полюсе.

Эйнштейн в Берлине

Работа над описанием гравитации как искривлённого пространства-времени (то есть, по сути, над её обобщением) заняла у Эйнштейна целых восемь лет. За это время он успел переехать из Цюриха в Берлин.

Эйнштейн родился в Ульме на юге Германии, но в 1896 году в возрасте 20 лет отказался от немецкого гражданства из-за отвращения к царившему на его родине милитаризму. Несмотря на это, когда ему предложили пост в университете в Берлине, он согласился, и Берлин стал его домом с 1914 года до прихода Гитлера к власти в 1933 году. После этого евреям стало слишком опасно оставаться в Германии, и Эйнштейн эмигрировал в США.

В Берлин его заманили Макс Планк и Вальтер Нернст. Эти два светоча немецкой (да и всемирной) науки однажды приехали в Цюрих с предложением, от которого Эйнштейн не мог отказаться: получить прибыльное место профессора в Берлинском университете без чтения лекций студентам. Берлин быстро превращался в центр научного мира, и возможность ежедневно общаться с лучшими учёными планеты была крайне привлекательна для человека, который многие годы провёл в своего рода интеллектуальном отшельничестве в Швейцарском патентном бюро. Кроме того, отъезд помог ему освободиться от уз тяготящего его брака.

Пока Эйнштейн поднимался всё выше и выше на интеллектуальный

Олимп, Милеву затягивали быт и воспитание детей. Уже этого одного было достаточно, чтобы посеять неприязнь между супругами, но в довершение всего Эйнштейн оказался совершенно не приспособлен к семейной жизни. Он был не в состоянии сочетать глубокую концентрацию, необходимую для фундаментальных научных открытий, с повседневными обязанностями или межличностными отношениями.

Ньютон избавил себя от этих проблем, оставшись холостяком. Насколько нам известно, близких привязанностей у него тоже не было. Эйнштейн же, как он ни кичился своей исключительностью, поступил в соответствии с традицией и женился на Милеве, так как этого требовали обстоятельства. Через некоторое время она забеременела и родила ребёнка, которого быстро отправили в Сербию к её семье. Скорбь от разлуки с малышкой, чьё существование пара скрывала даже от друзей, должна была оказывать большое давление на их брак. В свою бытность наивными студентами Швейцарской федеральной политехнической школы Милева и Эйнштейн мечтали, как будут жить в счастливом союзе, но реальность оказалась непохожей на их фантазии.

Из Цюриха в Берлин Эйнштейн ехал извилистым маршрутом, чтобы посетить своих друзей-учёных по всей Европе. В столицу Пруссии он прибыл лишь в апреле 1914 года, а вскоре к нему приехала и его семья. Но уже к началу июля его отношения с Милевой окончательно испортились, и она вернулась в Цюрих вместе с детьми. Хотя развелись они только в 1919 году, их брак распался пятью годами ранее.

В Берлине Эйнштейн вернулся к отношениям со своей кузиной Эльзой, с которой несколько лет назад у него случился роман. Эльза, разведённая женщина без особых перспектив, была готова заниматься домом и готовкой, а также соглашалась на то, чего не могла принять Милева. В обмен на статус спутницы известного человека она не чувствовала себя вправе требовать, чтобы он уделил ей своё внимание или время.

Эйнштейн вёл себя ужасно по отношению к Милеве. Тем не менее он плакал, когда его жена и двое сыновей садились на поезд в Цюрих. Вернувшись в свою пустую квартиру в районе Далем, он сел за стол и начал работать. Ему удалось воплотить своё главное желание: начать жизнь, свободную от бытовых проблем и семейных обязанностей. Друг Эйнштейна Янош Плеш описывал его так: «Он спит, пока его не разбудят, отправляется в постель, когда ему велят, голодает, пока ему не принесут поесть, и ест до тех пор, пока его не остановят».

Эйнштейн верил, что наконец-то обрёл покой. Но эта уверенность

была ошибочной.

Всего за несколько недель Германия и её союзники развязали войну с Россией, Британской империей и Францией. Эйнштейн был шокирован, но ещё сильнее его ужасало то, что его друзья-учёные буквально за одну ночь превратились в жаждущую крови толпу. «Весь наш хваленый технологический прогресс и цивилизацию в целом можно сравнить с топором в руках патологического преступника», — говорил он. ^[170]

Больше всего Эйнштейна расстраивало поведение химика Фрица Габера, его близкого друга. Габер пытался помирить его с Милевой и даже провожал семью Эйнштейна на поезд до Цюриха вместе с ним. Теперь же он превратил свою лабораторию в военную фабрику, где создавались ядовитые газы для уничтожения молодых ребят в окопах по всей Европе. ^[171]

Отстранённость Эйнштейна от реальности разрушила его брак, но она же помогла ему в ужасное военное время. Закрывшись в своём кабинете в институте Габера, окружённый химиками, которые превратились в убийц, он уходил с головой в мир физики и, в частности, теории гравитации.

Первые лекции, посвящённые своей новой теории, Эйнштейн прочёл в Прусской академии в октябре 1914 года. Он всё ещё не успел её завершить, но был достаточно в ней уверен, чтобы заявить, что Исаак Ньютон был не прав и что геометрия искривлённого пространства-времени критически важна для понимания гравитации. С тем же успехом он мог бы говорить с аудиторией на марсианском языке. Эйнштейн был сверхновой во вселенной физики, но к нему не отнеслись хоть сколько-нибудь серьёзно. Однако Эйнштейна это не смутило. Он вернулся в свой кабинет, закрыл дверь и принялся за работу.

Ещё через год, в конце 1915-го, наступил кульминационный момент.

Ноябрь 1915 года: Гилберт

Прочсть несколько лекций в Гёттингенском университете Эйнштейна пригласил величайший немецкий математик того времени. Давид Гилберт стал всемирно известен в 1900 году, когда выделил 23 сложнейшие проблемы математической науки, задав вектор её развития в XX веке.

Поскольку коллеги игнорировали Эйнштейна в Берлине, он ухватился за возможность быть выслушанным в Гёттингене. В конце июня – начале июля 1915 года он прочитал там шесть лекций о своей теории гравитации. Своей аудитории он сказал, что его расчёты трансформации гравитации в

геометрию были в основном верны, хотя это и не полностью соответствовало действительности. В частности, его теория гравитации была несовместима с одним из ключевых положений его же собственной специальной теории относительности 1905 года: о том, что наблюдатели, движущиеся равномерно относительно друг друга, должны видеть действие одинаковых законов физики. Ещё одна проблема состояла в том, что новая теория неправильно рассчитывала орбиту Меркурия.

Гилберт был уверен, что Эйнштейн находится на верном пути, и тот вернулся в Берлин в приподнятом настроении. Но к концу сентября радость сменилась ужасом.

В отличие от многих математиков Гилберт очень интересовался физикой. Именно поэтому в первую очередь он и пригласил Эйнштейна в Гёттинген. Интерес к физике побудил его попытаться исправить те проблемы, которые Эйнштейн описал в своей лекции. Забросив всю свою работу, он начал разрабатывать теорию гравитации, которая была бы совместима со специальной теорией относительности. После восьми лет одинокого труда у Эйнштейна появился конкурент, да ещё и наделённый исключительными способностями к математике.

Ситуация ещё больше ухудшилась, когда к концу сентября Эйнштейн осознал: нестыковки со специальной теорией относительности и неспособность рассчитать орбиту Меркурия — это не просто детали, как ему казалось, а фундаментальные проблемы. В частности, наблюдатели, вращающиеся относительно друг друга, будут видеть разные законы физики в действии, а это неправильно. С его теорией гравитации очевидно было что-то не в порядке.

Эйнштейн был глубоко подавлен, и его можно было понять. Он мог легко сломаться под гнётом проблем, но печаль очень быстро переросла в ярость. Он не мог допустить, чтобы другой человек прославился, используя результаты его восьмилетнего труда. Эйнштейн не был готов сдаться без борьбы.

К началу октября свершилось чудо — Эйнштейн понял, в каком направлении ему следует двигаться. Американский физик Ричард Фейнман говорил: «Хороший учёный много работает, чтобы допустить *все возможные ошибки* перед тем, как найти правильный ответ».^[172] Таким учёным и был Эйнштейн. В попытках создать свою теорию гравитации он совершил все мыслимые ошибки. Но гений состоит в том, чтобы уметь найти тропинку даже в самой крошечной темноте.

Выйдя из этой темноты на свет, Эйнштейн работал как одержимый в течение шести недель. Часто он забывал поесть и поспать. В дальнейшем

он рассказывал, что в этот период испытал самое большое умственное напряжение в своей жизни.

К началу ноября работа была почти завершена. Эйнштейну не хватало лишь уравнения для описания гравитационного поля. Но откладывать уже было нельзя.

За несколько месяцев до этого Эйнштейн обязался представить свою теорию, прочитав ряд лекций в Прусской академии. Когда он давал это обещание, ему казалось, что его теория достаточно разработана, но теперь понимал, что она не завершена. Тем не менее нужно было действовать, потому что время работало против него. Ему всего лишь нужно было достичь финиша раньше Гилберта.

Эйнштейн должен был читать лекции по одной в неделю в течение четырёх недель. На первое выступление он сумел найти достаточно материала, а вот дальше действовал по наитию. В течение всех последующих недель он лихорадочно пытался закончить задачу, на решение которой у него ушло восемь лет, и в конце каждой недели выходил к аудитории в Прусской академии и читал лекцию о своих вчерашних результатах.

Всё это время соперник дышал ему в затылок. Из писем, которые Гилберт писал Эйнштейну, было понятно, что он нащупал более или менее правильный путь, и это подталкивало Эйнштейна вперёд.

В своей первой лекции, прочитанной 4 ноября, Эйнштейн не делал никаких предсказаний. Но теперь его теория избавилась от внутренних противоречий и стала совместимой с общей теорией относительности. Как будто для того, чтобы специально подчеркнуть это, Эйнштейн сумел доказать, что ньютоновская теория гравитации представляет собой лишь приближённый вариант его собственной теории для небольшого искривления пространства-времени.^[173] Впервые за всё время работы над теорией гравитации она начинала выглядеть убедительно.

Через две недели, 18 ноября 1915 года, Эйнштейн впервые озвучил предсказание, основанное на своей теории. Он рассчитал значение гравитационного поля Солнца, что позволило не только вычислить искривление света, но и, что гораздо важнее, предсказать прецессию перигелия Меркурия.

Аномальное движение Меркурия

В Рождественский сочельник 1907 года, окончив анализ специальной

теории относительности, Эйнштейн написал своему цюрихскому другу Конраду Хабихту: «Я надеюсь объяснить непонятные до сих пор вековые колебания перигелийного расстояния Меркурия».^[174] В тот раз у него не вышло это сделать. Тем не менее это письмо показывает, что Эйнштейн уже тогда верил: это малозаметное явление на самом деле указывает на фундаментальную ошибку теории гравитации Ньютона.

Меркурий — самая близкая к Солнцу планета, а это значит, что ему приходится иметь дело с самым искривлённым пространством-временем в Солнечной системе. Соответственно, именно на Меркурий искривление пространства-времени имеет наибольшее воздействие.

В 1905 году Эйнштейн открыл, что все формы энергии имеют эффективную массу. А значит, все они должны порождать силу тяготения. При этом одной из форм энергии является гравитационная энергия, то есть энергия самого искривлённого пространства-времени. Удивительно, но искривлённое пространство-время не только само по себе является гравитацией, но и выступает как *источник дополнительной гравитации*. Гравитация порождает саму себя!

Соответственно, рядом с Солнцем гравитация окажется сильнее, чем предсказывал Ньютон, и на неё не будет распространяться закон обратных квадратов.

Величайшим триумфом Ньютона было доказательство того, что тело, подчиняющееся закону обратных квадратов, движется по эллиптической орбите. Из этого можно сделать вывод, что если закон обратных квадратов не распространяется на тело, то и его орбита не является эллиптической. Вместо этого она имеет форму эллипса, который постоянно осуществляет прецессию, то есть постоянно меняет свою ориентацию в пространстве, придавая орбите розетковидную форму.

Эйнштейн рассчитал орбиту Меркурия. Согласно его теории прецессия орбиты происходит из-за воздействия искривлённого пространства-времени вблизи Солнца. Значение этой прецессии составляет 43 секунды дуги каждые 100 лет.

Именно эта необычная прецессия уже полвека занимала умы астрономов, и именно она натолкнула Леверье на мысли о существовании планеты Вулкан.

Разумеется, никакого Вулкана на самом деле нет. Аномальное движение Меркурия вовсе не указывало астрономам на существование ещё одной планеты, скрытой за светом Солнца, а подтверждало нечто невообразимое. Оказывается, Исаак Ньютон ошибался.

«Теория полностью соответствует результатам наблюдений», —

заклучил Эйнштейн в конце лекции, на которой он представил Прусской академии результаты расчётов орбиты Меркурия. Ему удалось перевернуть с ног на голову всю физику последних 200 лет и доказать, что величайший из когда-либо живших учёных был не прав, но он смог не выказать своих истинных чувств. Его переполняли эмоции, он был вне себя от восторга, ^[175] а его сердце было готово выскочить из груди. ^[176]

Физики могут исписывать доски бесчисленными формулами, но нужно приложить усилия, чтобы поверить, что природа действительно живёт по открытым ими законам. Когда это подтверждается, учёные часто оказываются шокированы.

После восьми лет упорного труда Эйнштейн наконец добрался до вершины, а туман, окутывавший каждый его шаг, рассеялся. Перед ним открылся залитый солнечным светом пейзаж, который не видел ещё ни один человек до него. Эйнштейн говорил: «Много лет ты ищешь истину во мраке, истину, которую чувствуешь, но не можешь объяснить. Ты стремишься к ней всеми силами, переживаешь бесконечные периоды уверенности и разочарования, и наконец наступает ясность. Подобное ощущение может понять лишь тот, кто пережил всё это». ^[177]

На самом деле Эйнштейн был не единственным учёным, предположившим, что необычное движение Меркурия можно объяснить тем, что рядом с Солнцем сила притяжения несколько выше, чем предполагает закон Ньютона. В конце XIX века американский астроном Саймон Ньюком, ^[178] отмечал, что эта аномалия могла бы быть устранена, если бы сила притяжения ослабевала не в соответствии с законом обратных квадратов, то есть не во второй степени, а в степени 2,0000001612. ^[179]

Такое изменение испортило бы элегантную простоту закона Ньютона, но даже если Природа выбирает не самый красивый вариант, нам остаётся лишь согласиться с ним. Идея Ньюкома потерпела неудачу лишь потому, что, хотя его запутанный закон притяжения и объяснял движение Меркурия, он не мог описать движение Луны.

Объяснение Эйнштейна было применимо и к Меркурию, и к Луне. Вблизи Солнца, обладающего огромной массой, пространство-время было достаточно искривлено, чтобы вызвать заметную аномалию движения. Ближе к Земле пространство-время искривляется меньше, так что мы не видим ничего необычного в движении Луны.

История повторялась. Хендрик Лоренц и Джордж Фицджеральд предполагали, что длина тела укорачивается, когда оно движется со скоростью, близкой к световой, но не смогли это фундаментально

обосновать. А Эйнштейну это удалось. Точно так же и Ньюком предположил, что сила гравитации вблизи Солнца должна быть немного выше той, что предполагал Ньютон, но не сумел дать этому факту фундаментальное (а в данном случае даже верное) обоснование. В отличие от Эйнштейна.

Уравнения поля Эйнштейна

Давление со стороны Гилберта, постоянно дышавшего Эйнштейну в затылок, дало положительный эффект. В течение недели, предшествовавшей его последней, четвёртой лекции, после восьми лет упорного труда практически в последнюю секунду Эйнштейн достиг своей цели. Двадцать пятого ноября 1915 года, застегнув пальто на все пуговицы, чтобы не чувствовать холода, он прошёл по улице Унтер-ден-Линден до Прусской академии и написал на доске перед аудиторией уравнение:

$$G_{\mu\nu} = 8\pi G T_{\mu\nu} / c^4.$$

Так звучит закон гравитации, распространяющийся на все тела вне зависимости от движения или покоя. В этой короткой последовательности цифр заключается вся общая теория относительности. Американский научно-популярный писатель Деннис Овербай назвал его «уравнением, которое управляет Вселенной». [\[180\]](#)

Это уравнение Эйнштейна записано в очень короткой форме. Как Тардис из «Доктора Кто», изнутри оно больше, чем снаружи. Левая его часть представляет собой таблицу с цифрами 4×4, называемую тензором кривизны, которая полностью описывает кривизну пространства-времени. В правой части находится ещё одна таблица с цифрами 4×4, которая называется энергетическим тензором напряжений и сводит воедино все «источники гравитации». [\[181\]](#)

Тот факт, что с каждой стороны уравнения находятся таблицы 4×4, означает, что на самом деле это не одно уравнение, а целых 16. Используя аргумент симметрии, Эйнштейн сумел уменьшить их количество до десяти. Но тем не менее он противопоставил целых десять уравнений единому уравнению Ньютона.

Эйнштейновские уравнения гравитационного поля задают искривлённое пространство-время, которое возникает при любом распределении массы-энергии. По сути, они представляют собой

математическое отражение фразы Джона Уилера: «Материя заставляет пространство-время искривляться, а искривлённое пространство-время говорит ей, как нужно двигаться». Обнаружить гравитационное поле, соответствующее всем десяти уравнениям, очень трудно — настолько, что, если кому-то это удаётся, поле называют его именем.

Уравнения поля Эйнштейна общековариантны, то есть независимы от точки зрения наблюдателя (или, если говорить более научным языком, они сохраняют форму вне зависимости от системы координат, в которой они выражаются). В этом и состоит их красота, которая стоила Эйнштейну большой крови и слёз.

Но эта теория отличалась от той, которую он собирался создать в 1907 году. Его целью было обобщить специальную теорию относительности, поняв, как нужно изменить значения пространства и времени для наблюдателей, ускоряющихся (движущихся с переменной скоростью) относительно друг друга, таким образом, чтобы на них распространялись общие физические законы. По сути, Эйнштейн заменил ньютоновскую теорию гравитации новым усовершенствованным вариантом, а не разработал новую, посвящённую ускоряющимся наблюдателям. Это один из примеров счастливых случайностей, встречающихся в мире науки.

Искривление света под воздействием гравитации

В тот самый момент, когда Эйнштейн выводил мелом на доске своё уравнение, в Европе набирала обороты мировая война. В 1915 году уже применялись газы, душившие, отравлявшие и обжигавшие солдат по обе стороны фронта, цеппелины уже сбрасывали бомбы на британские города, а лайнер «Лузитания» уже затонул у побережья Ирландии после попадания торпеды, унёсшей жизни 1198 человек.

Но, несмотря на нарастающие ужасы войны, учёные из враждующих стран продолжали поддерживать контакт. Через несколько недель после публикации общей теории относительности копии работы Эйнштейна были переданы в Нидерланды, а из них — в Англию. И невзирая на то, что война унесла десять миллионов жизней и навсегда подорвала здоровье ещё стольких же людей, именно англичанин сумел подтвердить ключевую догадку Эйнштейна, подняв немецкого учёного на высшую ступень научного пьедестала. Это произошло в год перемирия, 11 ноября 1918 года.

[\[182\]](#)

Кембриджский учёный Артур Стэнли Эддингтон получил контрабандный экземпляр работы Эйнштейна от голландского астронома

Виллема де Ситтера в Лейдене. Будучи успешным популяризатором науки, он стал основным проводником идей Эйнштейна в англоязычном мире. Когда в 1919 году его спросили, правда ли, что общую теорию относительности могут понять всего три человека в мире, он (возможно, несколько нескромно) ответил: «Да? А кто третий?».

Эддингтон сосредоточился на идее Эйнштейна о том, что сила гравитации Солнца искривляет свет. Эйнштейн открыл этот эффект в 1907 году, когда заканчивал работу над статьёй о специальной теории относительности и уже раздумывал о создании такой теории гравитации, которая, в отличие от ньютоновской, отражала бы его новое видение пространства, времени, массы и энергии.

Согласно специальной теории относительности вся энергия, включая световую, имеет эффективную массу.^[183] Соответственно, такое массивное тело, как Солнце, должно притягивать к себе свет так же, как оно притягивает материю. Если бы этот эффект удалось увидеть, эйнштейновская теория гравитации получила бы серьёзное подтверждение.

Однако к тому моменту, когда Эйнштейн закончил работу над общей теорией гравитации, он уже осознавал, что гравитация искривляет свет гораздо слабее, чем он предполагал в 1907 году.

Давайте вернёмся к нашему астронавту в ракете с затемнёнными иллюминаторами, имеющей ускорение $1 g$ и находящейся вдали от каких-либо планет, а значит, не испытывающей на себе их гравитации. Поскольку ноги космонавта притягиваются к полу, а все предметы падают с одинаковой скоростью вне зависимости от их массы, он никак не сможет определить, что движется в космосе, а не стоит на Земле.

Хотя на самом деле это не совсем так. Есть один способ.

Земля круглая, а это значит, что все тела падают по направлению к её центру. Если два предмета бросить на противоположных сторонах земного шара, например в Британии и Новой Зеландии, они будут падать в противоположных направлениях. Но где бы мы ни бросили два предмета, их пути обязательно пересекутся в какой-то момент движения к центру Земли.

А вот астронавт в ракете увидит кое-что другое. Если он будет наблюдать за падением двух объектов с помощью достаточно точного измерительного прибора, он обнаружит, что их пути не сходятся, а всегда остаются параллельными. Благодаря этому он поймёт, что не находится на Земле.

Удивительно, но это не опровергает эйнштейновскую теорию гравитации. Принцип эквивалентности, на котором строится вся общая

теория относительности, указывает на то, что гравитация и ускорение должны быть неразличимы *локально*, то есть в ограниченной области пространства.

Но тот факт, что вблизи крупных небесных тел, таких как Земля и Солнце, пути движения падающих предметов сходятся, имеет значение для движения луча света. Рядом с такими телами (в отличие от ракеты нашего астронавта) свет искривляется в два раза сильнее, чем можно ожидать.

Телом, максимально искривляющим путь света, в нашей системе является Солнце, масса которого составляет 99,8% от её совокупной массы. Эйнштейн понял: чтобы увидеть этот эффект, нужно выбрать далёкую звезду, свет которой проходит мимо солнечного диска по пути к Земле в том месте, где ткань пространства-времени прогибается наиболее сильно. Путь такого света искривится, как тропинка, по которой идёт путешественник в холмистой местности. То есть для наблюдателя с Земли звезда перейдёт на другое место на небе.

Повесть о двух затмениях

Звёзды, которые находятся в непосредственной близости от Солнца, невозможно увидеть из-за его сияния, как нельзя заметить светлячка в свете автомобильных фар. Эти звёзды становятся доступными для наблюдения лишь в одном случае: когда солнечный диск закрывает Луна. При полном затмении мир погружается во мрак, и на несколько минут на дневном небе появляются звёзды.

Полные солнечные затмения можно наблюдать на нашей планете в разных местах каждые несколько лет. Но то положение Солнца, Луны и Земли, которое было необходимо Эйнштейну, можно наблюдать лишь в одной узкой полосе земной поверхности. Соответственно, шансы увидеть полное затмение в конкретном месте в конкретное время очень малы — примерно один раз в 350 лет.

Удачным образом 24 августа 1914 года полное солнечное затмение можно было наблюдать в Крыму, который находится не так далеко от Германии. Поэтому в Крым была организована экспедиция немецких учёных под руководством Эрвина Фройндлиха, астронома, которого глубоко впечатлили идеи Эйнштейна. Девятнадцатого июля Фройндлих с двумя помощниками и четырьмя телескопами отбыл из Берлина. Но это было не лучшее время для визита в Россию.

Возможно, Фройндлих слышал о том, что за три недели до этого в

Сараево от пули сербского националиста погиб австрийский эрцгерцог Франц Фердинанд. Но, как и большинство жителей Европы, он не понимал, что за чудовищную машину запустил этот выстрел Гаврило Принципа. Первого августа Российская империя объявила войну Германии, а через три дня к ней присоединилась Великобритания.

Всего за одну ночь Фройндлих и его спутники превратились из гостей России в её врагов. Их оборудование конфисковали, а сами они оказались в тюрьме. Полное затмение они пропустили, но небо над Крымом в тот день всё равно было затянуто облаками. Правда, они недолго оставались в беде. В ходе одного из первых обменов пленными в Первой мировой войне их отпустили взамен на освобождение русских офицеров, и к концу сентября они вернулись в Берлин.

Для Эйнштейна обстоятельства складывались достаточно удачно, и не только потому, что Фройндлих был его другом. Дело в том, что, если бы тому удалось измерить отклонение звёздного света вблизи Солнца, полученные значения не совпали бы с предположениями Эйнштейна. В 1914 году он всё ещё верил, что такое отклонение должно составить 0,87 секунды дуги (это число он получил в 1911 году), в то время как в 1915 году в соответствии с общей теорией относительности было получено другое значение — 1,7 секунды дуги. ^[184]

Но Первая мировая война закончилась, и 29 мая 1919 года произошло очередное полное солнечное затмение. Эддингтон со своим ассистентом отправился наблюдать его на Принсипи, небольшой остров вулканического происхождения в Гвинейском заливе у берегов Западной Африки. Погодные условия в день затмения были далеки от идеальных — с утра начался тропический ливень, но к середине дня он затих. Эддингтон и его ассистент с ужасом наблюдали, как облака то расходились, то снова появлялись, в то время как лунный диск медленно закрывал Солнце. Им оставалось лишь продолжать наблюдение и надеяться на лучшее.

Из 16 снимков, сделанных Эддингтоном, лишь на шести Солнце не закрывали облака. Из них четыре оказалось невозможно проявить в жарком тропическом климате Принсипи, поэтому их пришлось отложить до возвращения в Англию. Из оставшихся двух только на одном звёздное небо получилось достаточно ясным, чтобы Эддингтон мог провести свои измерения.

Но этого было достаточно.

Третьего июня Эддингтон сравнил расположение звёзд, сфотографированных во время полного затмения, с их расположением на снимках, которые были сделаны в то же самое время в Гринвиче. Это была

сложная процедура, потому что одна секунда дуги соответствовала на фотографиях всего 1/16 миллиметра. Но Эддингтон принял этот вызов и не только провёл измерения, но и перепроверил их.

Сомнений не было. Звёзды, расположенные близко к Солнцу, сместились на $1,61 \pm 0,3$ секунды дуги. Эти цифры лишь на волосок отличались от тех, которые предсказал Эйнштейн.

Эддингтон вспоминал об этом моменте как о самом важном событии своей жизни. Он доказал истинность общей теории относительности. Ньютон оказался не прав, и 40-летний немецкий физик потеснил его с Олимпа. Эддингтон даже сложил в честь этого двусторонние

One thing at least is certain, light has weight
Light rays, when near the Sun, do not go straight. [\[185\]](#)

Забавно, что экспедиция 1914 года провалилась из-за человека по фамилии Принцип, а экспедиция 1919 года добилась успеха на острове Принсипи.

Эйнштейн был болен, когда ему доставили телеграмму от его друга Хенрика Лоренца. В ней не говорилось напрямую о подтверждении общей теории относительности, но она, вероятно, передавала суть краткого послания, которое Эддингтон отправил с Принсипи в Англию: «Сквозь облака. Надеюсь на успех. Эддингтон».

Но и этого было достаточно. «Я знал, что прав!» — воскликнул Эйнштейн. [\[186\]](#)

Это и правда было так. Эйнштейн не только был самоуверенным, но и свято верил в то, что фундаментальные законы природы должны быть элегантными и красивыми. Уравнения общей теории относительности, вне всяких сомнений, подходили под это определение.

Некоторое время спустя один студент спросил учёного: «А что, если бы Эддингтон не подтвердил Ваше предположение?».

«Тогда мне было бы искренне жаль Творца», — ответил Эйнштейн. [\[187\]](#)

Седьмого ноября 1919 года на двенадцатой странице лондонской газеты *Times* вышла статья под тройным заголовком

РЕВОЛЮЦИЯ В НАУКЕ

===

Новая теория Вселенной

===

Ньютон повержен

Это был отчётный доклад с прошедшего накануне заседания Королевского общества и Королевского астрономического общества. Всего за одну ночь Эйнштейн превратился в суперзвезду. Его славу можно было сравнить с мировой популярностью Чарли Чаплина (во время своего визита в Лос-Анджелес он даже останавливался в доме Чаплина и его жены).^[188] Эйнштейн был так знаменит, что, когда в 1947 году Эдит Пиаф впервые приехала в США и на пресс-конференции её спросили, с кем она больше всего хотела бы встретиться на американской земле, она без колебаний ответила: «С Эйнштейном. Надеюсь, вы дадите мне его номер телефона».^[189]

Во время первого визита Эйнштейна в Лондон в 1921 году он жил у биолога Дж. Б. С. Холдейна. Шумиха вокруг этого факта была такой, как будто у него остановились Beatles в полном составе. Дочь Холдейна была настолько взволнована, что упала в обморок, стоило Эйнштейну переступить порог.^[190]

Утром, перед тем как прочесть лекцию в Лондоне, Эйнштейн прогулялся от дома Холдейна до Вестминстерского аббатства. Он остановился у ниши напротив хора, где находится мраморное надгробие его великого предшественника — Исаака Ньютона.

И Ньютон, и Эйнштейн создали свои теории гравитации, наблюдая за падающими телами. В падающем яблоке Ньютон разглядел падение Луны и благодаря этому объединил землю с небесами. А падение человека с крыши навело Эйнштейна на мысль о том, что сила притяжения — это всего лишь иллюзия. Оба они знали, каково это — в одиночку путешествовать по волнам мысли. «Для него природа была открытой книгой, которую он читал без всяких затруднений», — говорил Эйнштейн. Он бы отдал всё за встречу с Ньютоном. Пускай тот умер два столетия назад, но Эйнштейн понимал ход его мыслей лучше, чем кто-либо.

Итак, в руках у Эйнштейна оказался самый мощный инструмент в истории физики — общая теория относительности. Но даже гении могут ошибаться. Удивительно, но он упустил из вида несколько самых важных выводов из своей теории. Эти выводы — существование чёрных дыр и теория Большого взрыва — показывают, что, хотя Эйнштейн и сделал огромный шаг вперёд по сравнению с Ньютоном, его суждения тоже не были безошибочными.

Для дополнительного чтения

Einstein A. Relativity: The Special and General Theory. — London: Folio Society, 2004.

Fölsing A. Albert Einstein. — London: Penguin, 1998.

Levenson T. Einstein in Berlin. — New York: Bantam Books, 2003.

Levenson T. The Hunt for Vulcan... And how Albert Einstein destroyed a planet, discovered relativity and deciphered the Universe. — London: Head of Zeus, 2015.

Levin J. Black Hole Blues. — London: The Bodley Head, 2016.

Overbye D. Einstein in Love: A Scientific Romance. — London: Viking, 2000.

Pais A. «Subtle is the Lord...»: The Science and the Life of Albert Einstein. — Oxford: Oxford University Press, 1983.

7. Когда Бог делит на ноль

Как теория Эйнштейна предсказывает странные явления в «сингулярности» чёрной дыры и почему нужна другая теория, которая этого не делает.

В течение многих лет наша с Пенроузом работа имела катастрофические последствия для науки. Мы показали, что, если общая теория относительности Эйнштейна была верна, началом Вселенной должна была быть сингулярность. А это означало, что наука не могла предсказать, когда начнётся образование новой Вселенной.

Стивен Хокинг^[191]

Чёрные дыры показывают нам, что пространство можно смять, как бумагу, до невероятно маленькой точки, что время можно погасить, как пламя, и что законы физики, которые мы считали священными и неизменными, таковыми не являются.

Джон Уилер^[192]

В феврале 1916 года Эйнштейну пришла необычная посылка от солдата с Восточного фронта. Карл Шварцшильд работал директором Астрофизической обсерватории в Потсдаме, недалеко от Берлина. Но с началом войны в 1914 году в порыве патриотизма он бросил всё и ушёл на фронт добровольцем. За те 18 месяцев, которые он провёл в кайзеровской армии, Шварцшильд успел побывать управляющим метеорологической станцией в Бельгии, занимался расчётом траекторий снарядов в артиллерийской батарее во Франции, а потом оказался в России.

Несмотря на военную службу, Шварцшильд нашёл время на то, чтобы написать несколько научных работ. Две из них были посвящены эйнштейновской теории гравитации, с которой Шварцшильд ознакомился вскоре после её публикации в конце 1915 года. Удивительным было то, что

за столь короткий срок он сумел развить некоторые идеи Эйнштейна.

Уравнения общей относительности очень сложны. Например, они включают десять уравнений, которые Эйнштейн вывел только для описания закона обратных квадратов. Из-за этой сложности рассчитать форму пространства-времени вблизи реально существующего тела очень тяжело. Но Шварцшильд сделал несколько упрощающих предположений, которые придали эйнштейновским уравнениям более простую и управляемую форму и позволили Шварцшильду решить их.

Решение Шварцшильда описывало форму искривлённого пространства-времени вблизи локализованной массы, например звезды. Эйнштейн был поражён. «Я не ожидал, что кто-то сумеет сформулировать настолько простое решение этой задачи», — писал он Шварцшильду.

В частности, Шварцшильд продемонстрировал, что, если достаточное количество массы сжать до небольшого объёма, пространство-время искривится настолько, что превратится в бездонный колодец. Его стены будут такими крутыми, что любой луч света, пытающийся выбраться из него, в конце концов лишится всей своей энергии и погибнет. А без света такой участок пространства-времени окажется чернее ночи.

Шварцшильд не придумал названия для своего открытия. Его предложит американский физик Джон Уилер только в 1967 году. Но сегодня вряд ли можно найти человека, который не знает выражения «чёрная дыра». ^[193] Именно её и описал Шварцшильд в своём решении. ^[194]

Судьба Шварцшильда была трагической. Вместе с армией он оказался на территории России, где у него развился *пемфигус*, редкое и опасное аутоиммунное заболевание (болезнь, при которой иммунная система начинает атаковать здоровые ткани организма). При пемфигусе на коже и слизистой рта, носа и горла, а также на половых органах и анусе появляются болезненные волдыри. Причина возникновения этой болезни неизвестна, хотя считается, что её могут вызывать факторы наследственности и среды. Лекарства от неё тоже не существует, хотя современные препараты с кортикостероидами позволяют облегчить симптомы. Если в волдырь попадает инфекция, она быстро проникает в кровь и распространяется по всему телу. Именно это произошло со Шварцшильдом. В марте 1916 года его отправили с фронта в Берлин, но всего через два месяца, 11 мая, он умер. Ему было 42 года.

Чёрные дыры Шварцшильда имеют так называемый горизонт событий. Материя или свет, пересекающий его, больше не могут вырваться назад. Измерив горизонт событий, можно понять размер чёрной дыры. Для того чтобы в неё превратилось наше Солнце, ему нужно сжаться до сферы

радиусом три километра. Для Земли «радиус Шварцшильда» составил бы всего два сантиметра. К счастью для нас, ни Земля, ни Солнце не имеют достаточной массы, чтобы однажды превратиться в чёрные дыры под влиянием собственной гравитации.

Но если очень массивная звезда сколлапсирует в пределах своего горизонта событий (то есть пропадёт из виду для всей остальной Вселенной), гравитация продолжит сжимать её до тех пор, пока от звезды не останется лишь крошечная точка. После исчезновения звезды на её месте окажется лишь бездонный колодец из искривлённого пространства-времени. «Чёрные дыры — это самые совершенные макроскопические объекты во Вселенной, ведь они состоят только из времени и пространства», — говорил лауреат Нобелевской премии из Индии Субраманьян Чандрасекар.^[195]

В центре чёрной дыры материя, из которой состояла звезда, сжимается до бесконечной плотности, а искривлённость пространства и времени и сила гравитации принимают бесконечно высокие значения.^[196] Как говорил американский драматург и писатель Стивен Райт, «чёрные дыры — это места, где Бог разделил на ноль». Появление такой сингулярности в любой теории означает, что она больше не имеет отношения к реальности.

Комментируя работу Шварцшильда о чёрных дырах, Эйнштейн сказал: «Если бы эти результаты были верны, это означало бы настоящую катастрофу». И ни Эйнштейн, ни даже сам Шварцшильд ни на секунду не верили в их подлинность. Ни одному из них не приходила в голову мысль, что уравнение для чёрных дыр может описывать реально существующие во Вселенной объекты.

Те немногие, которые поверили в это, тоже не особо волновались. Запасы энергии в любой звезде конечны, и когда энергия заканчивается, свечение звёзды погасает и звезда начинает коллапсировать под воздействием гравитации. Но наверняка должна существовать какая-то сила, которая останавливает этот процесс. Природа просто не может допустить существования такой жуткой вещи, как сингулярность.

Оказалось, что подобная сила действительно существует. Она была обнаружена благодаря квантовой теории, описывающей странный микроскопический мир атомов и составляющих их элементов.^[197]

Квантовые звёзды

Квантовая теория возникла в начале XX века, но математическую базу

под неё подвели лишь в середине 1920-х годов. Согласно этой теории, мельчайшие составляющие материи ведут себя одновременно как локализованные частицы (похожие на крошечные бильярдные шары) и как распространяющиеся волны (как рябь на поверхности пруда). Этот корпускулярно-волновой дуализм является причиной множества странных и удивительных явлений. Например, когда одна частица может находиться в двух местах одновременно. Кроме того, он играет важную роль в том, что в конце своего жизненного цикла звёзды утрачивают энергию.^[198]

Когда звёздное топливо перестаёт толкать материю, из которой состоит звезда, в разные стороны, гравитация железной рукой сжимает её примерно до размеров нашей планеты. Такой белый карлик примерно в 100 раз меньше и в миллион раз плотнее, чем Солнце. Это последняя фаза существования всех звёзд, включая и нашу. Кубик такой материи размером с кусок сахара будет весить как автомобиль, и при такой высочайшей плотности электроны окажутся очень близко друг к другу.

Волна, зажата в небольшом пространстве, становится более резкой и отрывистой. Если речь идёт о квантовых волнах, это значит, что частица начинает двигаться быстрее (или, строго говоря, приобретает больший импульс). Так формулируется знаменитый принцип неопределённости Гейзенберга. Согласно ему, когда электроны оказываются плотно прижатыми друг к другу внутри белого карлика, их скорости очень сильно увеличиваются.

Этот квантовый эффект имеет для белых карликов огромные последствия. Но существует и ещё одно явление того же порядка, объяснить которое немного сложнее.^[199] Ещё одним последствием корпускулярно-волнового дуализма является разделение всех составляющих материи на две группы: бозоны, которые любят большие компании, и фермионы, которые предпочитают жить поодиночке. Фермионы, к которым относится и электрон, действуют в соответствии с принципом Паули, который гласит, что два фермиона не могут одновременно находиться в одном и том же квантовом состоянии.^[200]

Для электронов внутри белого карлика это означает, что две соседние частицы имеют различную скорость. Если скорость одной из них определяется принципом неопределённости Гейзенберга, то скорость соседней должна быть выше (как показывает практика, в два раза). Соответственно, соседняя с ней частица будет иметь в три раза большую скорость и так далее.

Представьте себе лестницу, где каждая ступень соответствует всё

большой и большей скорости. Согласно принципу Паули каждую ступеньку может занимать только один электрон (на самом деле два, но это уже совсем другая история).^[201] Принцип Паули утверждает, что электроны в белом карлике имеют невероятно высокие скорости, значительно превышающие те, которые предполагает принцип неопределённости Гейзенберга. Именно это стремительное движение электронов внутри звезды и противодействует сжатию под влиянием гравитации. Воздействие так называемого вырождения электронов поддерживает белый карлик в стабильном состоянии и не даёт ему схлопнуться до размеров меньше земных.^[202]

Итак, вот как обстояло положение дел в конце 1920-х годов. На выручку умирающим звёздам пришла квантовая теория, остановившая их падение в чёрные дыры с зияющей сингулярностью в самом сердце. Всё было под контролем. Всё было хорошо.

Вернее, лишь казалось.

Предел Чандрасекара

В августе 1930 года 19-летний индус поднялся в Бомбее на палубу корабля, направлявшегося в Англию. Целью его путешествия был Кембриджский университет. Я уже цитировал раньше его замечание о совершенстве чёрных дыр. Звали его Субраманьян Чандрасекар, и он был гением математики.

Плавание началось при плохой погоде, и корабль шёл на вполсилы меньшей скорости, чем нужно. Но у Адена появилось солнце, а когда судно проходило через Суэцкий канал, Чандрасекар даже смог выйти из каюты, в которой находился почти всё время из-за морской болезни.

Представляю, как странно он выглядел, выходя на палубу с огромной стопкой книг по квантовой теории и астрофизике. Вспотев, еле добравшись до шезлонгов, он сваливает книги на один из них и сам в изнеможении падает на другой. Соотечественники, прогуливающиеся мимо, бросают на него удивлённые взгляды. За всё плавание он ни разу не пытался заговорить с ними и знает, что его считают нелюдимым, а может, и заносчивым. Но ему нет до этого дела. Наконец-то у него есть время, чтобы спокойно подумать. За бортом проплывают пески Синайского полуострова, ветер пустыни обжигает ему лицо, а он размышляет о белых карликах. Голова Чандрасекара занята одним вопросом: являются ли электроны в белом карлике релятивистскими? Закопавшись с головой в книги и бумаги,

он создаёт формулу, которая объединит звёздную материю с квантовым поведением электронов при крайне высокой плотности. Он играет всеми известными ему значениями, пока наконец правильная комбинация не даёт ему ответ. Он проверяет его снова и снова, но сомнений нет. Электроны внутри белого карлика должны двигаться со скоростью, превышающей половину скорости света. На таких скоростях должны возникать явления, предусмотренные специальной теорией относительности. Говоря научным языком, эти электроны должны быть релятивистскими.

Мы говорим о невероятных скоростях: более 150 000 километров в секунду. Но для Чандрасекара самым важным было не это. Квантовой теории оказалось недостаточно для понимания белых карликов. Чтобы теория была правильной, в неё нужно было включить специальную теорию относительности.

Ночью всё небо было усыпано звёздами, но никому из пассажиров не приходило в голову, что странный молодой человек, увлечённый своими записями настолько, что иногда забывал поесть, прямо сейчас рассчитывает, что происходит внутри этих звёзд. Его тело оставалось на палубе корабля, но его дух витал сейчас где-то в космосе среди умирающих солнц.

У Чандрасекара ушло совсем немного времени на то, чтобы разработать релятивистскую теорию белых карликов. Так же быстро он открыл и ещё одно явление, неожиданное и необычное, если не сказать пугающее.

Чем большей массой обладает белый карлик, тем сильнее гравитация сжимает электроны внутри него и тем быстрее они движутся. Однако теория относительности Эйнштейна устанавливает предел скорости их движения — скорость света. Когда электроны достигают космического предела скорости, они становятся всё более и более массивными и набирать скорость им оказывается всё труднее и труднее. Здесь-то и возникает проблема. Именно постоянное движение электронов препятствует тому, что гравитация сожмёт звезду в одну точку. Если же под давлением гравитации электроны постепенно снижают свою скорость, то и сопротивление гравитации уменьшается. Молодой индийский математик, лежащий на шезлонге на палубе корабля и глядящий в небо, видел в нём надвигающуюся катастрофу, словно огни поезда, мчащегося прямо на него.

Белый карлик, в котором электроны сдерживают напор гравитации, похож на бейсбольный мяч, сжатый рукой игрока. Но когда порог массы оказывается преодолён, всё изменяется. Вместо мяча в ладони бейсболиста оказывается шарик зефира.

Чандрасекар проводил свои расчёты снова и снова, проверяя и перепроверяя их, ища в них ошибку. Но её не было. Если к концу жизни звезды её масса превышает массу Солнца более чем в 1,4 раза, давления от вырождения электронов оказывается недостаточно. Под воздействием гравитации происходит катастрофическое сжатие, и никакая сила во Вселенной не может его остановить. Ужасающей сингулярности нельзя избежать.

Нейтронные звёзды

Ещё через два года, в 1932 году, английский физик Джеймс Чедвик обнаружил частицу, равную по массе положительно заряженному протону, но не имеющую электрического заряда. Открытый им нейтрон дополнил структуру атома. Отрицательно заряженные электроны вращаются вокруг очень плотного ядра, которое состоит из протонов и нейтронов и составляет 99,9% атомной массы. Исключение составляет атом водорода, самого лёгкого элемента, ядро которого содержит лишь один протон.

Открытие Чедвика имело огромные последствия для понимания процессов в звёздах, масса которых превышает «предел Чандрасекара», то есть 1,4 солнечной массы. Да, их внутренности действительно превращаются в мягкий зефир, а гравитация сжимает их до бесконечно малого состояния. Но это не всё, что происходит в подобных звёздах. В какой-то момент электроны оказываются вжатыми в ядра, где они вступают в реакцию с протонами и образуют нейтроны.

Нейтроны, как и электроны, являются фермионами, а нейтронный газ, так же как и электронный, даёт звезде достаточно сил для сопротивления гравитации. Но нейтроны гораздо меньше атомов, поэтому вместо белого карлика размером с планету Земля появляется клубок нейтронов размером с Эверест. Материал, из которого состоит этот нейтрон, будет таким плотным, что кубик его размером с кусок сахара будет весить столько же, сколько всё человечество, вместе взятое.

В 1940-х годах британский астроном Фред Хойл предположил, что единственным возможным источником энергии для появления сверхновой (звёздной вспышки, такой яркой, что она может затмить свет галактики из 100 миллиардов звёзд) является гравитационная энергия, высвобождающаяся в тот момент, когда обычная звезда превращается в нейтронную. Но обнаружить нейтронные звёзды удалось лишь в 1967 году, когда выпускница Кембриджа Джоселин Белл открыла первый пульсар.^[203]

Несмотря на то что «давление вырождения электронов» стабилизирует нейтронные звёзды и не даёт им сколлапсировать под воздействием гравитации, у таких звёзд имеется та же ахиллесова пята, что и у белых карликов. Это релятивистские звёзды — частицы, из которых они состоят, движутся почти со скоростью света. Соответственно, после преодоления какого-то предела массы даже вещество нейтронной звезды начинает размягчаться.

Физика нейтронов, которые удерживают вместе ядерные силы, гораздо более сложна, чем физика электронов, которые взаимодействуют за счёт электромагнитных сил. Поэтому максимальная масса нейтронной звезды определена не так точно, как предел Чандрасекара. Впервые её рассчитал российский физик Лев Ландау в 1932 году, и считается, что она в три раза превышает массу Солнца. Если звезда проходит этот порог, то никакая сила во Вселенной не может спасти её от коллапса и превращения в сингулярность.

Установление пороговой массы не имело бы смысла, если бы во Вселенной не было звёзд в три или более раза тяжелее Солнца. Но такие звёзды, конечно же, существуют. Масса некоторых из них превышает солнечную в 100 раз. Подобные звёзды крайне нестабильны, и на них часто происходят массивные потрясения, приводящие к объёмным выбросам вещества в космос. Но даже после таких «конвульсий» к моменту, когда звёздного топлива в них больше не остаётся, они всё равно обычно оказываются гораздо тяжелее Солнца, а значит, коллапса и формирования чёрной дыры избежать невозможно.

Это факт, который мы знаем наверняка. В 1971 году спутник NASA под названием «Uhuru» обнаружил первого кандидата на роль чёрной дыры: звезду Лебедь X-1. На данный момент только в нашей Галактике известно несколько десятков чёрных дыр звёздной массы. Кроме того, наблюдения с помощью телескопа «Хаббл» подтвердили, что в сердце почти каждой галактики во Вселенной имеется гигантская чёрная дыра. Некоторые из них весят в 50 миллиардов раз больше Солнца, в то время как Стрелец A*, центр Млечного Пути, находящийся от нас в 27 000 световых лет, имеет массу, лишь в 4,3 раза превышающую солнечную. Происхождение таких сверхмассивных чёрных дыр остаётся загадкой для современной астрофизики.

Но чёрные дыры, поместившие сингулярность в самое сердце общей теории относительности, были не единственной проблемой для теории гравитации Эйнштейна. Существовала и ещё одна — Большой взрыв.

Большой взрыв

Общая теория относительности описывает, как материя (или, если говорить более обобщённо, энергия) искривляет ткань пространства-времени. Эйнштейн никогда не боялся по-настоящему масштабных задач, поэтому в 1917 году он применил свою теорию к самому большому из известных ему скоплений материи — всей Вселенной.

Гравитация управляет макромиром, потому что существует всего один тип массы, и она всегда притягивает другую массу. Поэтому, несмотря на то что сила притяжения — одна из самых слабых в природе, её воздействие нарастает по мере увеличения массы, и уже на планетарном уровне гравитация становится непреодолимой и превалирует над всеми прочими фундаментальными силами. Как писал Терри Пратчетт, «гравитация — это привычка, от которой не так-то легко избавиться».^[204] В отличие от гравитации сильные и слабые ядерные силы действуют лишь на очень малых расстояниях, а электромагнитные силы не ограничены в пространстве, но зато гасятся на больших дистанциях из-за существования двух типов электрического заряда.

Гравитация — словно космический Купидон, пытающийся собрать воедино все одинокие частицы материи во Вселенной. С начала времён, когда материю разнесло Большим взрывом по всем уголкам космоса, гравитация стала её клубом одиноких сердец. Дэн Симмонс замечал: «Любовь встроена в самую структуру Вселенной в виде материи и силы притяжения».^[205]

Применив свою теорию гравитации ко Вселенной, Эйнштейн создал космологию, то есть науку о происхождении, развитии и судьбе космоса. Но кое в чём он ошибся. Как и Ньютон до него, он верил, что Вселенная всегда была неизменной и навечно такой останется. Идея статичной Вселенной была крайне притягательной, ведь в таком случае у неё не было ни начала, ни конца, а значит, не стоило и задумываться о её возникновении.

Проблема состояла в том, что уравнения Эйнштейна описывали динамичное пространство-время, которое просто не могло находиться в состоянии покоя. Чтобы исправить этот недочёт, Эйнштейн предположил, что пустое пространство содержит энергию, искривляющую его вне зависимости от присутствия материи. Это искривление, которое он назвал *космологической постоянной*, представляет собой постоянную отталкивающую силу пустого пространства. Несмотря на то что все тела во

Вселенной влияют друг на друга с силой притяжения, отталкивающая сила её нивелирует. И вуаля — мы получаем статичную Вселенную.

В 1930 году главный последователь Эйнштейна, физик Артур Эддингтон, продемонстрировал, что эта гипотеза неверна. Она была нестабильна, словно карандаш, стоящий вертикально. Одно легчайшее движение — и всё обрушится. Вселенная, которую описывал Эйнштейн, балансировала на грани между расширением и коллапсом, и любой толчок мог её опрокинуть.

Но хотя Эйнштейн и упустил суть своих уравнений, говорящих о том, что Вселенная должна находиться в движении, от некоторых его коллег она не укрылась. Чтобы упростить уравнения и сделать их пригодными для решения, Эйнштейну пришлось предположить, что плотность материи во Вселенной всегда остаётся неизменной. Но в тот же год, когда он опубликовал это предположение, Виллем де Ситтер, голландский учёный, читавший ещё первые, контрабандой вывезенные из страны экземпляры работ Эйнштейна, попробовал применить теорию относительности ко всей Вселенной самостоятельно. В отличие от Эйнштейна он не настаивал на неизменной плотности материи и старался смотреть на получившиеся результаты более открыто. Де Ситтер выявил, что Вселенная, в которой действует теория Эйнштейна, должна расширяться. Если поместить в такую Вселенную две частицы, то из-за расширения расстояние между ними будет медленно увеличиваться.

Проблема со Вселенной де Ситтера состояла в том, что она была пустой. В ней не было ничего, кроме расширяющегося пространства-времени. Соответственно, его теория не описывала реальную Вселенную, в которой мы живём (но зато показывала, какого джина выпустил из бутылки Эйнштейн: пространство-время оказалось динамичным и существующим независимо от материи).

Но в 1922 году российский математик Александр Фридман открыл целый класс Вселенных, допускаемых теорией Эйнштейна. Некоторые из них расширялись, некоторые сжимались, и все содержали материю. Ещё через пять лет «развивающиеся» Вселенные Фридмана были повторно обнаружены католическим священником из Бельгии по имени Жорж Леметр. Сегодня большинство людей знает Вселенные Фридмана–Леметра под их более простым названием — Вселенные Большого взрыва. ^[206]

Разумеется, существование таких Вселенных было известно учёным лишь теоретически. Но в 1920-х годах ситуация изменилась благодаря американскому астроному по имени Эдвин Хаббл. Для начала он открыл галактики.

Эйнштейну и его коллегам мешало то, что они не знали, из чего состоит Вселенная. В начале XX века уже было известно, что Солнце относится к огромному скоплению звёзд, называемому Млечным Путём. Кроме того, по всему космосу были разбросаны мириады других «спиральных туманностей». Вопрос был лишь в том, что они собой представляют: облака светящегося газа, входящие в Млечный Путь, или другие скопления звёзд, находящиеся так далеко от нашей Галактики, что их сияние сливается воедино?

В 1923 году Хаббл сумел ответить на этот вопрос с помощью 100-дюймового^[207] телескопа Хокера, самого большого из подобных аппаратов на Земле, установленного в обсерватории Маунт-Вилсон в Южной Калифорнии. Хаббл направил его на туманность Андромеды и сумел не просто рассмотреть отдельные звёзды, но и выделить из них звёзды особого типа — их свет становился то ярче, то слабее, помогая определить расстояние до них. Эти звёзды, названные цефеидами, убедительно доказали, что туманность Андромеды (а значит, и все прочие спиральные туманности) находится на огромном расстоянии от Млечного Пути.^[208]

Так Хаббл открыл, что базовыми элементами Вселенной являются галактики. Наш Млечный Путь, насчитывающий 100 миллиардов звёзд, — это всего лишь одна галактика из примерно двух триллионов.^[209]

Затем Хаббл решил измерить скорость движения галактик, продолжив труд ещё одного сотрудника обсерватории Маунт-Вилсон Милтона Хьюмаса.^[210] К 1929 году Хаббл провёл достаточно измерений, чтобы заявить о необычном открытии. Почти все галактики не приближались к Млечному Пути, а удалялись от него. При этом, чем дальше от нашей Галактики они находились, тем быстрее двигались. Хаббл понял, что Вселенная расширяется. Удивительно, но гипотеза о Большом взрыве, выдвинутая Фридманом и Леметром на основании теории гравитации Эйнштейна, описывала реальные события.

Но одно дело — открыть, что Вселенная расширяется, и совсем другое — понять, что означает данный факт. Для этого к собственному открытию нужно отнестись серьёзно, а учёным частенько сложно поверить, что их запутанные математические уравнения имеют непосредственное отношение к реальности.

В конце 1930-х годов американский физик украинского происхождения Георгий Гамов задумался о расширении Вселенной по другим причинам. Он пытался найти источник происхождения всех существующих в природе химических элементов.

Таблица Менделеева насчитывает 92 элемента — от самого лёгкого, водорода, до самого тяжёлого, урана. Гамов полагал, что Вселенная началась с водорода (самого простого кирпичика в космическом конструкторе Lego), а все прочие элементы постепенно происходили от него. Но для этого потребовалась бы огромная печь, температура в которой доходила бы до многих миллиардов градусов.^[211]

Звёзды не казались Гамову подходящими кандидатами на эту роль (тут он ошибался),^[212] и он начал поиски другого источника. Именно в этот момент он и представил себе, что будет, если проиграть расширение Вселенной задом наперёд. Через какое-то время (сегодня нам известно, что оно составляет 13,82 миллиарда лет) вся материя во Вселенной окажется сжатой до минимального объёма. Тогда-то и должно было произойти рождение Вселенной — Большой взрыв.

Если сжимать материю, она начинает нагреваться (об этом знает каждый, кто пытался накачать колёса велосипеда с помощью насоса). Гамов понял, что температура при Большом взрыве должна была быть огромной. Это был огненный шар, взрыв атомной бомбы.

Не все химические элементы могли быть созданы в гипотетической печи Гамова.^[213] Но, ошибаясь, Гамов одновременно был прав — такое часто случается в науке. Тот факт, что Вселенная расширяется, означает, что она родилась из огненного взрыва. Поразмыслив, Гамов понял и вот что: жар от этого взрыва ещё не должен был остыть.

Свет и тепло от обычного взрыва, например от шашки динамита или даже атомной бомбы, рассеиваются, и через час, или день, или неделю от них не остаётся и следа. Но, кроме Вселенной, не существует ничего, а значит, жару от Большого взрыва просто некуда было деться. Соответственно, его ещё можно зафиксировать, пускай за 13,82 миллиарда лет Вселенная и успела несколько остыть. Из видимого света излучение Большого взрыва должно было превратиться в радиоволны. Расчёты Гамова показали, что 99,9% фотонов (частиц света) во Вселенной должно приходиться на это «остаточное свечение».

Но каждый физик, будь это даже сам Эйнштейн, совершает ошибки. Ошибка Гамова состояла в том, что он полагал, будто остаточное излучение Большого взрыва невозможно зарегистрировать в современной Вселенной. Однако двое его студентов понимали, что это не так. Ральф Альфер и Роберт Херман выяснили, что такое излучение должно иметь две довольно заметные характеристики. Во-первых, оно должно исходить из любой точки на небе с одинаковой интенсивностью, а во-вторых, если говорить

научным языком, оно должно обладать «спектром чёрного тела». ^[214]

Альфер и Херман опубликовали свои предположения в международном научном журнале *Nature* в 1948 году, но их статья осталась незамеченной. Кроме того, когда они поинтересовались у радиоастрономов, могут ли те зафиксировать остаточное излучение Большого взрыва, ответ был отрицательным (и неверным).

Перенесёмся в 1965 год. Двоим радиоастрономам из американской телефонной компании AT&T передали в пользование огромную рупорную антенну в Холмделе, Нью-Джерси. Она использовалась в ранних экспериментах с первыми спутниками связи, «Echo-1» и «Telstar». Арно Пензиас и Роберт Уилсон хотели использовать антенну для астрономических наблюдений, но, куда бы они её ни направляли, они постоянно слышали белый шум. ^[215]

Сначала они решили, что источником шума является расположенный неподалёку Нью-Йорк, но, когда антенну повернули в другую сторону, звук не изменился. Затем Пензиас и Уилсон предположили, что шум исходит откуда-то из Солнечной системы, но шли месяцы, Земля вращалась вокруг Солнца, а изменений так и не происходило. Следующей версией учёных были ядерные испытания в атмосфере, из-за которых в её верхние слои были выброшены электроны, генерирующие радиоволны. Но шло время, а звук не стихал.

Затем Пензиас и Уилсон обратили внимание на пару голубей, гнездившуюся внутри рупора антенны. Оказалось, что вся внутренняя часть антенны покрыта «белым диэлектрическим материалом», более известным как птичий помёт. Может быть, загадочный шум возникал из-за него? Пензиас и Уилсон поймали голубей и вымыли антенну, но аномалия никуда не делась.

Наконец, один из коллег рассказал Пензиасу, что учёные из расположенного поблизости Принстонского университета занимаются поисками реликтового теплового излучения молодой Вселенной. Удивительно, но им с Уилсоном удалось совершенно случайно совершить одно из самых важных открытий в космологии со времён модели расширяющейся Вселенной Хаббла. Они обнаружили остаточное излучение, а значит, подтвердили теорию Большого взрыва.

Это было одно из величайших событий в истории науки. Теперь физики знали наверняка, что Вселенная не существовала вечно. У неё было начало, новый день без дня вчерашнего. В 1978 году Пензиас и Уилсон получили Нобелевскую премию по физике за открытие *фонового*

космического излучения.

Стрела времени

Почему время постоянно движется в одном направлении? Почему люди стареют, а не молодеют, яйца разбиваются, а не собираются из осколков, а дворцы рассыпаются в прах, а не возникают из него? Это одна из загадок нашей Вселенной, и, чтобы разгадать её, нам нужно вернуться к моменту Большого взрыва.

Все события, которые я перечислил выше, представляют собой трансформацию чего-то упорядоченного в нечто неупорядоченное. Однако существует множество способов, которыми можно разбить яйцо (лишить его упорядоченности), и лишь одно состояние, в котором яйцо пребывает в порядке. Второй закон термодинамики гласит, что энтропия (неупорядоченность) может лишь нарастать. Превращение разбитого яйца в целое возможно в принципе, но в значительной степени невероятно.

Но если направление времени связано с постепенным исчезновением порядка во Вселенной, значит, в прошлом, в частности в момент Большого взрыва, она должна была быть более упорядоченной. Это создаёт проблему для физиков, потому что упорядоченность — это крайне невероятное состояние. Если верить Ларри Шультману из Университета Кларксон, штат Нью-Йорк, [\[216\]](#) в решении этой задачи может помочь гравитация.

Изначально Вселенная представляла собой раскалённый шар, материя в котором была распределена равномерно. Это состояние было неупорядоченным. Но примерно через 380 000 лет с момента своего возникновения температура шара снизилась достаточно для того, чтобы электроны могли вступить во взаимодействие с ядрами и сформировать первые атомы. Свободные электроны очень активно взаимодействуют с фотонами, а электроны в атомах — нет. В тот момент на каждый электрон приходилось примерно десять миллиардов фотонов. Соответственно, до формирования атомов фотоны просто разрывали материю и гравитация не могла собрать её воедино. А вот после того, как возникли атомы, это стало возможным. Именно гравитация «включила» Вселенную. Частицы материи увеличивались в размерах до тех пор, пока не сформировали скопления галактик, которые мы можем наблюдать и сегодня.

Для материи, подверженной воздействию гравитации, самым естественным состоянием является группирование в объекты вроде звёзд и галактик. Но, как уже говорилось выше, в возрасте 380 000 лет материя во

Вселенной была распределена равномерно, а вероятность её пребывания в таком состоянии крайне низка. «Включение» гравитации перевело Вселенную в иное состояние, которое и требовалось для того, чтобы «стрела времени» полетела в нужном направлении.

В этом объяснении есть кое-что удивительное: судя по всему, непосредственно до и сразу после рубежа 380 000 лет («эпохи последнего рассеяния») Вселенная выглядела почти одинаково. Разница состояла лишь в том, что гравитация стала всемогущей. Но с гравитационной точки зрения Вселенная перешла из вероятного состояния в невероятное. Аналогично Шульману об этом рассуждал и британский физик Роджер Пенроуз.

Открытие реликтового излучения Пензиасом и Уилсоном заставило физиков задаться множеством вопросов. Вселенная началась с Большого взрыва, но что это было за событие? Что его вызвало? Что происходило до него? Отвечать на них никому не хотелось, поэтому большинство астрономов, включая и самих Пензиаса и Уилсона, предпочитали теорию вечной и стационарной Вселенной.

Существовала и ещё одна проблема, затрагивавшая самую суть общей теории относительности. Если мысленно прокрутить расширение Вселенной назад, как предлагал Гамов, можно увидеть, что она будет становиться ещё плотнее и ещё горячее, а пространство-время будет всё сильнее и сильнее искривляться. В итоге всё сведётся к бесконечности, к ещё одной ужасной сингулярности, пускай и временной, а не пространственной, как чёрная дыра.

Итак, в теории Эйнштейна появился второй пробел. Из нарядного платья общая теория относительности превращалась в лохмотья, побитые молью.

Но для неё всё ещё оставалась надежда.^[217] Сингулярности не были неизбежными — из них существовал выход.

Теоремы о сингулярности

Даже если гравитация превращает внутренности умирающей звезды в зефир, его поверхность не становится идеально гладкой. То тут, то там возникают бугры. Чем плотнее сжимается звезда, тем более очевидными оказываются эти неровности. Иными словами, коллапсирующая звезда не идеально симметрична и не все её части в какой-то момент сольются в одну точку с невероятной плотностью. Некоторые останутся за её пределами, а

значит, сингулярность не сформируется и теория Эйнштейна сможет продержаться ещё какое-то время.

Принцип, работающий для чёрных дыр, может быть верным и для Большого взрыва. Если материя неравномерно распределена по Вселенной, значит, в более плотном её состоянии эти неровности были ещё более явно заметны. При сжатии они точно так же не сойдутся в одной точке, и ужасающая сингулярность снова не возникнет. Эйнштейновская теория будет работать, а значит, можно будет проследить историю Вселенной до периода, предшествовавшего Большому взрыву. Возможно, например, что она какое-то время коллапсировала до крошечной точки, которая затем взорвалась.

Здесь на сцену выходят британские физики Стивен Хокинг и Роджер Пенроуз. В своих научных трудах в 1965–1970 годах они сфокусировались на том, можно ли избежать сингулярности в теории Большого взрыва и чёрных дыр. В ходе исследований они разработали несколько впечатляющих теорем о сингулярности. Самая важная из них демонстрирует, что при соблюдении большого количества общих и вполне возможных условий сингулярности в чёрных дырах и при Большом взрыве были неизбежны. Они формировались вне зависимости от того, по какому сценарию сжималась Вселенная или коллапсировала звезда.

Это была неприятная правда, но от неё некуда было деться. Теория гравитации Эйнштейна сама вела себя к разрушению. Хотя она верно предсказала искривление света, прецессию перигелия Меркурия и замедление времени при сильной гравитации, она также описала и сингулярности, а они не имеют смысла. На чёрных дырах и рождении Вселенной она сломалась. «Если мы не можем понять, что произошло в сингулярности, из которой мы возникли, значит, мы не знаем ничего о физике частиц», — говорит Нил Тuroк из института «Периметр» в Уотерлу, Канада.

Тот факт, что теория гравитации Эйнштейна неприменима для сингулярностей, может означать лишь одно: это всего лишь упрощённая версия другой, более глубокой и точной теории.

Квантовая гравитация

Двумя величайшими достижениями физики XX века являются теория гравитации Эйнштейна (общая теория относительности) и квантовая теория.^[218] Каждая из них идеально прошла все возможные

экспериментальные проверки и наблюдения и каждая занимает почётное первое место в своей отрасли науки. Общая теория относительности описывает огромные объекты вроде звёзд и всей Вселенной, в то время как квантовая теория касается мельчайших тел — атомов и их составляющих.

[219] Но в сингулярности (в сердце чёрной дыры или в момент Большого взрыва) огромные массы материи сжимаются до размеров меньше атома. Соответственно, чтобы понять, что происходит в чёрных дырах, и пролить свет на происхождение Вселенной, нужно объединить эти две теории и создать *квантовую теорию гравитации*. Так называют ту самую глубокую и точную теорию, которую ищут физики.

Уже в 1916 году Эйнштейн понял, что квантовая теория, хотя и считавшаяся в тот момент последним словом природы (во что он не верил), требует некоторых правок в соответствии с теорией относительности. Он писал: «Из-за внутриатомного движения электронов атомы должны испускать не только электромагнитную, но и гравитационную энергию, пускай и крайне слабую. Так как этого, скорее всего, на самом деле не происходит, квантовой теории нужно будет изменить не только максвелловские законы термодинамики, но и новую теорию гравитации».

[220]

Для того чтобы понять, насколько сложно свести две теории воедино, нужно сначала поговорить о странностях квантовой теории и её фундаментальных отличиях от общей теории относительности...

Для дополнительного чтения

Fölsing A. Albert Einstein. — London: Penguin, 1998.

Levenson T. Einstein in Berlin. — New York: Bantam Books, 2003.

Levenson T. The Hunt for Vulcan... And how Albert Einstein destroyed a planet, discovered relativity and deciphered the Universe. — London: Head of Zeus, 2015.

Miller A. Empire of the Stars: Friendship, betrayal and obsession in the quest for black holes. — London: Little Brown, 2005.

Часть III

После Эйнштейна

8. Квантовое пространство-время

Как квантовая теория демонстрирует, что пространство и время обречены, и ищет для них более фундаментальные основания.

По понедельникам, средам и пятницам мы преподаём волновую теорию, а по вторникам, четвергам и субботам — корпускулярную.

Уильям Брэгг^[221]

Ваша теория безумна, но настолько ли она безумна, чтобы быть верной?

Нильс Бор^[222]

Квантовая теория имела фантастический успех. Благодаря ей у нас есть лазеры, компьютеры и ядерные реакторы. Она объясняет, почему светит Солнце и почему почва под нашими ногами твёрдая. Но квантовая теория — это не только ключ к пониманию всего и рецепт для создания новых изобретений. Она приоткрывает для нас окно в безумный мир, Зазеркалье, скрытое прямо под покровом реальности. В этом мире атом может одновременно находиться в двух местах (представьте, что вы в одну и ту же секунду гуляете по Нью-Йорку и Лондону), событиям не нужны причины, а один атом может моментально воздействовать на другой, даже если тот находится в противоположном конце Вселенной.

Необходимость в создании квантовой теории вытекала ещё из теории электромагнетизма Максвелла, которая описывает все электрические и магнитные явления в виде единой стройной системы. При этом теория Максвелла содержит два парадокса, и оба они связаны со светом. Разрешение первого из них — как скорость света в вакууме может быть одинаковой вне зависимости от скорости движения наблюдателя — привело к созданию специальной теории относительности Эйнштейна, одному из важнейших событий в истории физики XX века. Разрешение второго тоже произвело революцию: благодаря ему возникла квантовая теория.

Второй парадокс возникает потому, что теория Максвелла допускает существование электромагнитных волн любого размера. Соответственно, помимо видимого света, длина волны которого составляет чуть менее тысячной доли миллиметра, во Вселенной имеются и волны большей (радиоволны, открытые Генрихом Герцем в 1888 году) и меньшей длины (рентгеновские волны, обнаруженные в 1895 году Вильгельмом Рентгеном). Размер волны связан с энергией, которую она переносит: медленные радиоволны имеют гораздо меньшую энергию, чем волны видимого света, а те, в свою очередь, менее энергичны, чем стремительные рентгеновские волны.

В горячем атомном газе световые волны постоянно испускаются и поглощаются. По прохождении достаточного количества времени в таком случае возникают все возможные виды световых волн. В подобном состоянии «теплового равновесия» энергия равномерно распределена между волнами любой длины. Здесь-то и возникает проблема. У длины волны существует верхний предел, который задаётся параметрами контейнера, содержащего газ. А вот нижнего предела у неё нет. Это значит, что, какую бы волну мы ни выбрали, количество волн длиннее неё будет конечным, а волн короче её — бесконечным.

Как уже говорилось выше, при тепловом равновесии энергия должна быть равномерно распределена между всеми волнами. Поскольку коротких волн оказывается существенно больше, чем длинных, бо́льшая часть энергии всегда будет приходиться на них. Соответственно, в конце концов вся энергия горячего газа перейдёт к самому энергичному излучению — рентгеновскому.

До открытия рентгеновских лучей в 1895 году излучением, обладавшим максимальной энергией, считалось ультрафиолетовое. Поэтому данный парадокс начали называть *ультрафиолетовой катастрофой*.^[223]

Нестыковка становится особенно очевидной, если проанализировать наше Солнце. Согласно максвелловской теории наша звезда должна постоянно выбрасывать в космос горячие и слепящие пучки рентгеновских лучей. Почему же она всё ещё светит?

«Каждый парадокс приносит пользу», — писал немецкий математик Готфрид Лейбниц. В 1900 году его земляк, физик Макс Планк, доказал его правоту.

В конце XIX века последним достижением в области электричества считалась лампочка, а главный технический и экономический вопрос звучал так: как максимизировать количество видимого света, выделяемого нитью накаливания внутри неё? Ответить на него было невозможно, ведь лучшая существовавшая на тот момент теория света предполагала, что такая нить, как и горячий газ в нашем Солнце, должна испускать весь свой свет в виде вспышек рентгеновских лучей.

Науке требовался новый способ, чтобы обуздать свет и избежать при этом безумного сценария ультрафиолетовой катастрофы. И после долгих и мучительных размышлений Планк его нашёл.

В соответствии с теорией Максвелла осциллирующий электрический заряд, например электрон, испускает свет с частотой своей осцилляции. На самом деле в теории говорится, что ускоренный заряд выделяет электромагнитное излучение, но осциллирующий заряд — это то же самое, что постоянно ускоряющийся. Планк представил себе контейнер, стенки которого состоят из электронов, подвешенных, как грузы на пружинах. Сегодня мы знаем, что осциллирующие электроны Планка существуют внутри атомов, но в конце XIX века не все физики были уверены даже в том, существуют ли сами атомы. Тем не менее образ, созданный Планком, вышел достаточно достоверным.

Если нагреть такой контейнер, то тепловая энергия заставит пружины осциллировать и испускать осциллирующие световые волны с одинаковой частотой. Эти волны пересекут контейнер и будут поглощены другими осциллирующими волнами, которые, в свою очередь, испустят осциллирующие световые волны с собственной частотой. В результате этого бесконечного взаимодействия тепловая энергия будет равномерно распределена между всеми пружинами и световыми волнами. В этой ситуации на световые волны с самой высокой частотой придётся бо́льшая часть энергии, потому что они будут возникать существенно чаще других.

Планк понял, что катастрофы можно избежать, если осциллирующие пружины смогут выделять и поглощать не любое количество энергии, а лишь производную от некоего базового значения. Он предположил, что это значение равнялось частоте (f), умноженной на h — очень маленькое число (частота определяется как количество осцилляций в секунду).

Задумайтесь, как глупо это звучит: как если бы спортсмен мог прыгнуть только на высоту, кратную 0,5 метра. Он смог бы преодолеть барьер в 0,5, или 1,0, или 1,5 метра, но расстояния 0,75, 1,2 или 1,81 метра ему бы не покорились.

Не существовало никаких причин, по которым атомные пружины

Планка должны были бы испускать только энергию, кратную hf . Эта схема выглядела полным сумасшествием. Самому Планку она пришла в голову лишь по одной причине — она работала, верно предсказывая изменение количества или интенсивности света, излучаемого горячим атомным газом, в зависимости от частоты или энергии.

Согласно Планку, осциллирующее тело не может просто поглощать свет, а затем излучать его с чуть большей энергией. Излучение происходит на следующем допустимом уровне энергии — или не происходит вообще. Если осциллирующему телу не хватает энергии для излучения света, свет не возникает. Соответственно, когда энергия распределяется между световыми волнами, волны с наибольшей частотой не получают львиной доли энергии (если получают её вообще). Это попросту слишком затратно. Такое объяснение позволяет избежать ультрафиолетовой катастрофы.

Парадокс, связанный с движением вдоль луча света, возник потому, что теория Ньютона не предполагала ограничений скорости тела. Парадокс ультрафиолетовой катастрофы появился из-за того, что теория Максвелла не устанавливала нижнего предела для длины волны. Как скорость света в теории Эйнштейна обуздала бесконечно большую скорость, так и кванты Планка сумели обуздать бесконечно малые длины.

Для Планка эта схема была всего лишь математической задачей. Хотя он и постулировал, что энергия поглощается атомами в форме дискретных элементов (квантов), в которых она всегда представляет собой производное от hf , он ни на секунду не верил, будто свет может действительно двигаться в пространстве подобным образом. Однако эта мысль пришла в голову Эйнштейну, отцу двух революций — релятивистской и квантовой. В 1905 году он задумался о поразительном сходстве между формулой Планка, описывающей распределение энергии между волнами различной длины, и максвелловской формулой распределения энергии между частицами в газе.

Максвелл был гением и за короткие 48 лет своей жизни сумел внести огромный вклад в физику в области не только электромагнетизма, но и астрономии и микроскопической теории газов. Для создания своей формулы он представил атомы в виде крошечных пуль и рассчитал, как бесчисленные столкновения, в ходе которых энергия передаётся от быстрых частиц более медленным, позволяют им распределять энергию между собой. Эйнштейн заявил, что поразительное сходство между формулами Максвелла и Планка может иметь лишь одно объяснение: свет тоже состоит из дискретных частиц. То, что Планк считал всего лишь математической хитростью, оказалось реальным. Свет действительно испускается и поглощается в форме частиц, которые позже окрестили

фотонами.

Сегодня мы знаем, что из невидимых частиц, или квантов, состоит всё: энергия, материя, электрический заряд и так далее. Природа на самом мельчайшем уровне не имеет цельной структуры, как это представляла себе классическая физика, а оказывается зернистой, как старый фотоснимок при увеличении.

«Физическая константа» h впоследствии стала известна как постоянная Планка. Так как фотон очень невелик, энергия, которую он переносит, имеет ничтожно малое значение. Поэтому мы не замечаем, что свет, исходящий от лампочки, — это на самом деле поток крошечных частиц. Их просто слишком много.

Чтобы лучше понимать, какую роль постоянная Планка играет в микромире, давайте представим себе, что её можно увеличить до такого размера, что её действие станет заметно в реальном мире. В какой-то момент каждый протон сможет переносить столько энергии, что нить накаливания в лампочке сможет испускать лишь небольшое количество частиц. Она начнёт мерцать. Сначала лампочка испустит десять фотонов, через секунду — семь, ещё через одну — 15 и так далее. Если значение h продолжит увеличиваться, то уровень энергии, переносимой каждым фотоном, станет слишком высоким. Нить накаливания не сможет испустить ни одного фотона, и лампочка перестанет светить.

Эйнштейн использовал идею того, что свет состоит из фотонов, для объяснения непонятного явления — отрыва электронов от поверхности некоторых металлов.^[224] Открытие *фотоэффекта* не просто принесло ему Нобелевскую премию по физике в 1921 году. Это была единственная работа, которую сам Эйнштейн считал революционной.^[225] Чтобы понять почему, нужно обратить внимание на одно повседневное явление.

Случайная реальность

Посмотрите в окно. Вы увидите то, что происходит снаружи, а если приглядитесь — то и отражение собственного лица. Это происходит потому, что стекло не является полностью прозрачным. Большая часть попадающего на него света проходит сквозь стекло, но небольшая доля отражается.

Это явление можно легко объяснить волновой природой света. Представьте себе волну, которая идёт по поверхности озера и натывается на преграду, например корягу. Волна продолжит своё движение, за

исключением небольшой её части, которая откатится назад. Но если считать свет потоком одинаковых фотонов, то найти объяснение становится труднее. Если они ничем не отличаются друг от друга, значит, и взаимодействовать со стеклом должны одинаково (учитывая, что речь идёт об идеальном стекле без всяких изъянов). Либо все фотоны должны проходить сквозь него, либо все они должны отражаться. Третьего не дано.

Чтобы объяснить, почему мы видим своё отражение в окне, физикам пришлось пересмотреть своё определение «одинаковости». Для фотонов она означает равные шансы пройти сквозь стекло (например, 95%) или отразиться от него (5%). Но Эйнштейн понимал, что введение понятия «шанс» в физику приведёт к катастрофическим последствиям.

Физика — это способ предсказывать будущие события со 100%-ной вероятностью. Если сегодня Луна находится в определённой точке, то с помощью закона Ньютона мы можем абсолютно точно рассчитать её завтрашнее местоположение. Но раз вы можете увидеть в оконном стекле своё отражение, значит, предвидеть последствия столкновения со стеклом для каждого конкретного фотона невозможно. Мы можем лишь оценить вероятность того, что он пройдёт сквозь стекло или отразится от него.

Задумайтесь на мгновение, что это означает. Если вы бросите игральную кость, то результат может показаться вам непредсказуемым. Но на самом деле, если бы вы знали точную скорость полёта кости, могли проанализировать движение воздуха вокруг неё и имели достаточно мощный компьютер, вы смогли бы определить, какое число выпадет. Те события повседневной жизни, которые мы считаем случайными, на самом деле неслучайны — просто процесс их предсказания достаточно трудоёмкий. А вот поведение фотона при соприкосновении со стеклом непредсказуемо в принципе. Какой бы информацией мы ни обладали, насколько мощный компьютер бы ни использовали, мы не сможем со 100%-ной вероятностью определить действия фотона. Для квантовой кости каждый бросок выглядит как первый.

Это правило применимо не только к фотонам, но и ко всем прочим микроскопическим составляющим нашего мира, от электронов до кварков. Поведение каждой частицы фундаментально непредсказуемо.

Почему же тогда предсказуема наша повседневная реальность? Почему Солнце восходит каждое утро, а траекторию брошенного мяча можно проследить и поймать его? Одной рукой Природа даёт нам что-то, а другой — забирает. Пускай окружающий мир фундаментально непредсказуем, он *предсказуемо непредсказуем*. Инструментом для предсказания непредсказуемого выступает квантовая теория.

Осознание того, что вся Вселенная, по сути, основана на случайности, стало самым шокирующим за всю историю науки. И каждый раз, когда вы видите своё отражение в стекле, Вселенная напоминает вам об этом. Эта идея так не нравилась Эйнштейну, что он заявлял: «Бог не играет в кости». Пионер квантовой теории Нильс Бор отвечал ему на это: «Перестаньте указывать Богу, что делать с костями».

Эйнштейн сильно ошибался. Бог не просто играет в кости — если бы он этого не делал, не существовало бы Вселенной, или по крайней мере она не была бы достаточно сложной для того, чтобы в ней появились люди. [\[226\]](#)

Корпускулярно-волновой дуализм

То, что мы видим своё отражение в стекле, объяснимо и если свет представляет собой волну, и если он является потоком частиц. На самом деле корпускулярно-волновой дуализм — это ключевая характеристика микроскопического мира атомов и субатомных частиц. [\[227\]](#)

Кажется, что частицы, локализованные в пространстве, и волны, распространяющиеся по нему, фундаментально несовместимы. По крайней мере именно так считали физики 1920-х годов, которые поддерживали идеи Эйнштейна и Планка. «Я помню многочасовые споры, тянувшиеся до ночи и приводившие нас в отчаяние, — писал немецкий физик Вернер Гейзенберг. — После этого я отправлялся на прогулку в парк по соседству и постоянно прокручивал у себя в голове вопросы. Может ли природа действительно быть настолько абсурдной, какой она казалась нам в этих атомных экспериментах?» [\[228\]](#)

Правильный ответ: может. Микромир атомов и субатомных частиц совершенно не похож на нашу повседневную реальность (хотя этого следовало ожидать, учитывая, что он в миллиарды раз меньше нашего). Фотоны и их соседи по микромиру — это и не частицы, и не волны, а нечто незнакомое нам, для чего в нашем словаре ещё нет слов. Они словно объекты, которые мы не можем увидеть, а лишь следим за игрой их теней. «Мы сумели создать математическую схему [квантовую теорию]... способную адекватно описывать процессы на атомном уровне, — писал Гейзенберг, — но для их визуализации нам приходится полагаться на две неполные их аналогии, волновую и корпускулярную».

Итак, базовые строительные блоки Вселенной ведут себя одновременно как частицы и как волны. Но эти волны довольно необычны. Это так называемые математические «волны вероятности», которые

выражают вероятность обнаружения частицы в какой-либо точке или определённого её поведения. Волна вероятности распространяется по пространству, отражается от препятствий и интерферирует сама с собой. ^[229] Её распространение описывается уравнением, созданным австрийским физиком Эрвином Шрёдингером в 1925 году. В тех местах, где значение амплитуды волны велико, высок и шанс на обнаружение частицы, а при низкой амплитуде эта вероятность незначительна. ^[230]

Шрёдингер создал своё уравнение, отправившись в выходные со своей девушкой в горы покататься на лыжах. Гениальность этого уравнения состоит в том, что оно объединяет волновую и корпускулярную половины реальности. Данное математическое решение фиксирует существование в природе корпускулярно-волнового дуализма и позволяет физикам проводить расчёты в реальном мире. В том же году, в котором появилось уравнение Шрёдингера, Гейзенберг вместе с Максом Борном и Паскуалем Йорданом разработали матричную механику — версию квантовой теории, которая внешне кажется отличной от неё, но на самом деле говорит о том же самом.

Множественные реальности

Корпускулярно-волновой дуализм — это палка о двух концах. В 1923 году французский физик Луи де Бройль предположил, что не только световые волны могут вести себя как локализованные частицы, но и частицы, например электроны, могут демонстрировать волновое поведение. Это звучало как полная бессмыслица. Но в 1927 году Клинтон Дэвиссон и Лестер Джермер в США и Джордж Томсон в Шотландии выяснили, что электроны могут интерферировать друг с другом и что при этом их квантовые волны усиливаются или гасятся, как рябь, бегущая по поверхности озера. Интересно, что отцом Джорджа Томсона был Дж. Дж. Томсон, открывший электрон. Отец получил Нобелевскую премию за то, что доказал корпускулярную природу электрона, а его сын — за то, что опроверг её.

Открытие волн, ведущих себя как частицы, имело шокирующие последствия для физики, равно как и открытие частиц, ведущих себя как волны. Оказалось, что фундаментальные строительные блоки материи способны делать множество вещей, доступных волнам, и хотя в нашей реальности их последствия незаметны, их воздействие на микромир огромно.

Представьте себе море: оно волнуется во время шторма, но постепенно ветер спадает и остаётся лишь мелкая рябь. Если вы наблюдали оба этих вида волн, то знаете, что иногда они могут сочетаться друг с другом: на поверхности большой волны появляются мелкие. Подобный эффект возникает не только в океане, но и во всех типах волн. Если существует две волны, может существовать и их комбинация, или суперпозиция. Казалось бы, это банальное наблюдение, но в микромире оно имеет огромное значение.

Вообразите себе квантовую волну, которая представляет собой атом кислорода (по-научному такая волна вероятности будет именоваться волновой функцией). Допустим, что в правом углу комнаты она имеет высокую амплитуду. Иными словами, у нас есть почти 100%-ный шанс найти там атом кислорода. В этом нет ничего необычного. Но давайте вспомним: если могут существовать две волны, то возможна и их суперпозиция. Однако суперпозиция двух квантовых волн, соответствующих атому кислорода, означает, что этот атом будет одновременно находиться и в правом, и в левом углу комнаты.

При этом никто никогда не наблюдал атом кислорода в двух местах одновременно.^[231] Если он оказывается в левом углу комнаты, то волна, соответствующая тому же атому в правом углу, моментально коллапсирует. Это утверждается в уравнении Шрёдингера. До тех пор пока местоположение атома не будет точно определено, существует множество вероятностей, но как только наблюдатель увидит атом, актуализируется лишь одна из них. Атом оказывается в строго определённой точке со 100%-ной вероятностью. Величие уравнения Шрёдингера состоит в том, что оно примиряет две непримиримые стороны, объединяя частицы и волны в единое математическое целое.^[232]

Однако если никто никогда не наблюдал атом кислорода (или, если уж на то пошло, любое другое тело) в двух местах одновременно, то какая разница, имеет ли место квантовая суперпозиция? Но дело в том, что у неё есть *последствия*, которые приводят к необычным событиям в микромире.

Приведу простой пример. Два совершенно одинаковых шара для боулинга сталкиваются и рикошетят друг от друга, отлетая в противоположные стороны от точки соприкосновения. Теперь допустим, что эти столкновения повторяются, а мы фиксируем направление полёта: на два часа и восемь часов, затем на четыре часа и десять часов и так далее. После того как этот процесс воспроизведётся сотни раз, не останется ни одного направления, в котором не двигался бы каждый шар.

Теперь давайте заменим шары в этом эксперименте на два одинаковых квантовых объекта, например электрона или атома кислорода. Если мы столкнём их несколько сотен раз, то заметим, что в некоторых направлениях частицы никогда не перемещаются: например, на три часа и девять часов или на пять часов и одиннадцать часов. Почему это происходит? По этим направлениям пики вероятностной волны одной из частиц совпадают с самыми низкими значениями вероятностной волны второй частицы. Они гасят друг друга, сводя вероятность обнаружения частиц на данных направлениях к нулю.

Суть в том, что благодаря интерференции две квантовые волны в суперпозиции могут взаимодействовать друг с другом ещё до того, как наблюдатель обнаружит частицу. Из-за этого могут возникать неожиданные последствия, например неспособность сталкивающихся частиц разлететься в определённых направлениях.

Это также объясняет, почему электрон, движущийся по орбитали вокруг атомного ядра, не падает на него, как предсказывает теория Максвелла. Существуют миллионы траекторий, по которым электрон может двигаться в направлении ядра: прямая, спираль и так далее. С каждой из них связана своя квантовая волна. Поблизости от ядра эти волны гасят друг друга, а значит, вероятности обнаружить там электрон нет.

Данный пример показывает ещё одно фундаментальное отличие квантовой физики от доквантовой. В классической физике тело (например, Луна) движется по чётко заданной уникальной траектории. Квантовая теория говорит, что такой траектории не существует. Между двумя моментами наблюдения электрон может двигаться по миллиону разных траекторий, для каждой из которых существует своя вероятность.

Если суперпозиция кажется вам недостаточно странным феноменом, подумайте о том, что квантовые явления могут комбинироваться, создавая невероятные сочетания — например, нелокальность или жуткое дальное действие, которые Эйнштейн считал слишком безумными для реальной теории. Чтобы понять их, давайте для начала разберёмся, что такое спин.

Сверхзвуковое воздействие

Наряду с корпускулярно-волновым дуализмом и непредсказуемостью спин — это ещё одно квантовое свойство, не имеющее аналогов в нашем мире. Представьте себе фигуриста, который вращается на льду. Он

обладает так называемым угловым моментом, рассчитываемым как импульс его тела, умноженный на среднее расстояние от оси, вокруг которой происходит вращение. Значение углового момента (как и импульса, и энергии) является фиксированным и не может быть создано или уничтожено. Поэтому, когда фигурист прижимает руки к бокам, тем самым сокращая расстояние между своим телом и осью вращения, он начинает вращаться быстрее для компенсации изменений.

В квантовом мире частицы (например, электроны) ведут себя так, как будто они вращаются, хотя никакого вращения на самом деле не происходит. Они обладают внутренним спином. Как и всё в микромире, он измеряется в невидимых квантах. Исторически сложилось так, что фундаментальной единицей спина является $1/2$ от определённого значения ($\hbar/2\pi$). Такой спин переносится электроном. При этом электрон может вращаться либо по часовой стрелке, либо против неё, хотя на самом деле он не вращается. Физики предпочитают говорить, что в таком случае спин электрона направлен вверх или вниз.

Теперь давайте посмотрим, как спин в комбинации с некоторыми другими квантовыми свойствами, а именно суперпозицией и непредсказуемостью, приводит к возникновению феномена жуткого дальнегодействия.

Возьмём два электрона. Первый из них имеет спин, направленный вверх, а второй — вниз. Или наоборот. Главное, что в такой ситуации возможна суперпозиция, при которой два электрона имеют спины, направленные одновременно вверх и вниз и вниз и вверх.

Поскольку спины электронов направлены в разные стороны, они гасят друг друга, то есть их угловой момент равен нулю. Мы помним, что угловой момент не меняется, он должен постоянно оставаться нулевым. То есть спины двух электронов должны всегда быть разнонаправленными.

Теперь, не глядя на наши электроны, давайте поместим один из них в коробку и отправим на противоположный конец земли. Откроем коробку. Из-за квантовой непредсказуемости существует 50%-ный шанс того, что электрон, который мы наблюдаем, будет иметь спин, направленный вверх, и 50%-ный — что вниз. Суть в том, что, как только мы определим направление спина, тот электрон, который мы оставили дома, должен будет приобрести противоположный спин. Обратите внимание на слова «как только». Они полностью нарушают установленный Эйнштейном космический предел скорости, равный скорости света. Именно поэтому Эйнштейн полагал, что жуткое дальнеедействие — доказательство неправильности квантовой теории.

К сожалению для него, лабораторные эксперименты показали, что родившиеся вместе субатомные частицы, например два электрона из нашего примера, действительно могут влиять друг на друга со скоростью, превышающей скорость света, даже если они находятся на разных концах Вселенной. Учёные называют такое состояние *квантовой запутанностью*. Нильс Бор говорил: «Тот, кто не шокирован квантовой физикой, просто ещё не понял принцип её работы».

Нелокальность, также известная как запутанность, вписывается в специальную теорию относительности, так как та считает невозможной передачу информации на сверхзвуковых скоростях. Но в случае с двумя электронами мы не знаем, какой электрон имеет спин, направленный вверх, а какой — вниз, пока не взглянем на него. Соответственно, мы не сможем закодировать с их помощью сообщение, например присвоив одному спину значение 1, а другому — 0. Передача информации в такой ситуации действительно невозможна.

Но, помимо непредсказуемости, суперпозиций и запутанности, существует и ещё одно базовое свойство волн, влияющее на нашу реальность...

Принцип неопределённости

Представьте себе волну, которая имеет постоянную длину и колеблется вверх-вниз. Такая синусоидальная волна движется без остановки, а значит, её точное местоположение на 100% неопределённо. Теперь подумайте об импульсе, который она переносит. Можно интуитивно предположить, что он связан с длиной волны. Очень активная волна с небольшой длиной будет переносить большой импульс, а более спокойная — меньший. Поскольку синусоидальная волна имеет лишь одну длину, то мы знаем точное значение переносимого ею импульса. Оно известно нам на 100%.

Мы можем создать более локализованную волну, чем синусоидальная. Чтобы сформировать такой «волновой пакет», нужно просто добавить к первой синусоидальной волне вторую с другой длиной. А затем ещё одну, и ещё одну, и так до тех пор, пока синусоидальные волны не погасят друг друга везде, *кроме одной локализованной области*.^[233] Чем больше волн находятся в суперпозиции, тем более локализованную волну можно получить в итоге. Но за точное определение местоположения волны придётся заплатить определённую цену. Так как теперь наша волна состоит из множества синусоидальных волн, каждая из которых имеет свою длину

и, что самое главное, свой собственный импульс, общий импульс локализованной волны оказывается неопределённым.

Итак, чем точнее мы знаем местоположение волны, тем менее точно можем определить значение импульса и наоборот. Напомню, что для единичной синусоидальной волны значение импульса было известно нам на 100%, но лишь за счёт полностью неопределённого местоположения самой волны. Между нашими знаниями о местоположении волны и её импульсе должен существовать некоторый компромисс. Это фундаментальное свойство распространяется на все типы волн, и обойти его невозможно. А так как микроскопические строительные блоки материи ведут себя как волны, такой же компромисс действует и для них. Мы уже встречались с этим явлением ранее. Оно называется принципом неопределённости Гейзенберга.^[234]

Если говорить точнее, то произведение значений неопределённости местоположения частицы и её импульса не может быть меньше $h/2\pi$.^[235] Такое же ограничение существует и для энергии и времени. В частности, произведение значений неопределённости энергии частицы и времени её существования тоже не может быть ниже $h/2\pi$.^[236]

Ваше тело не выглядит как распространяющаяся волна с неопределённым местоположением, потому что значение h слишком мало, а ваш импульс слишком велик. Но для крошечных субатомных частиц с небольшим импульсом неопределённость местоположения очень высока. Мельчайшая частица материи, имеющая самую маленькую массу и, соответственно, импульс, — это электрон. Именно он и проявляет наиболее ярко выраженные волновые свойства при минимальной локализации. Как уже говорилось в седьмой главе, именно этим и объясняется, почему атомы существуют, а их электроны не падают на ядро. Электрон не может втиснуться в небольшой объём пространства возле ядра, потому что имеет максимальную квантовую волну, а значит, *ему нужно много места*.

Принцип неопределённости Гейзенберга защищает квантовый мир от разрушения. Если квантовое тело будет локализовано слишком точно, оно утратит свои волновые свойства, которые необходимы ему для интерференции и участия в иных волновых явлениях, определяющих квантовое поведение.

Распад пространства-времени

Принцип неопределённости Гейзенберга имеет огромные последствия

для пустого пространства. Он означает, что небольшие области вакуума имеют огромную неопределённость относительно уровня энергии, содержащейся в них. Энергия то возникает, то исчезает, как деньги, которые вор крадёт из бумажника, а потом возвращает обратно, пока владелец не заметил. Такие *квантовые флуктуации* проявляются в виде пар частиц и античастиц (например, электронов и позитронов), которые возникают из ниоткуда, как кролик из шляпы фокусника. Их существование настолько мимолётно и они пропадают настолько быстро, что назвать их настоящими частицами можно было бы лишь с некоторой натяжкой. Тем не менее эти «виртуальные» частицы воздействуют на атомы, сталкиваясь с их внешними электронами и вызывая небольшие изменения в энергии света, который эти электроны излучают, переходя между орбитами. За измерение данного сдвига в атоме водорода американский физик Уиллис Лэмб в 1955 году получил Нобелевскую премию.

Из-за квантовых флуктуаций вакуум буквально кипит энергией. И если флуктуации вполне велики, то в микромире этой энергии будет достаточно для искривления пространства-времени.^[237]

Вообразите себе, что вакуум — это океан в ветреный день. Чайке, пролетающей в небе над водой, её поверхность кажется абсолютно гладкой. Так пространство и время выглядят для макромира. Но если чайка опустится ниже, она заметит волны. Точно такие же колебания будут испытывать пространство и время в меньшем масштабе. Если же чайка приземлится на палубу судна, она увидит огромные валы воды, перехлёстывающиеся через борта. Так будут восприниматься флуктуации в микромире.

Джон Уилер предложил для этого хаотичного пространства-времени термин «квантовая пена». Здесь стоит отметить, что мы до сих пор не получили эмпирических доказательств её существования. Несмотря на то что квантовая пена должна влиять на свет удалённых объектов во Вселенной, таких как квазары или гамма-барстеры, в течение многих миллиардов лет его движения к Земле, обнаружить этот эффект ещё никому не удалось.^[238]

Большинство физиков согласны с Уилером в том, что в микромире пространство-время не существует. «Пространство-время почти наверняка обречено, — говорит Нима Аркани-Хамед из Института перспективных исследований в Принстоне, Нью-Джерси. — Его нужно заменить другими, более фундаментальными строительными блоками Вселенной. Вопрос

только в том, что это за блоки».

Аркани-Хамеда считают одним из самых талантливых и оригинальных физиков-теоретиков в мире. Одетый в свою фирменную чёрную футболку, шорты и сандалии, с развевающимися длинными тёмными волосами, бурно жестикулирующий и исписывающий доску в аудитории уравнениями, он щедро делится своими знаниями и готов говорить о физике с каждым. Более того, он утверждает, что ни разу в жизни не отказывал студентам, хотевшим писать у него научные работы. [\[239\]](#)

Тот факт, что Аркани-Хамед оказался в эпицентре физической науки XXI века, — настоящее чудо. В десятилетнем возрасте он едва не умер от лихорадки в горах между Ираном и Турцией, когда его семья в 1982 году бежала от режима Хомейни. Он ехал на одной лошади с матерью, и чтобы мальчик оставался в сознании, она показывала ему на сияющую ленту Млечного Пути на небе и обещала купить телескоп, когда они поселятся в безопасном месте. Этим местом оказалось Торонто, и там Нима получил обещанное, а затем, после Калифорнийского университета в Беркли и Гарварда, оказался в Институте перспективных исследований, где в последние годы своей жизни работали Эйнштейн и логик Курт Гёдель.

Кажется, будто энергия у Аркани-Хамеда не заканчивается никогда, и сейчас он использует её, чтобы убедить китайское правительство построить ускоритель частиц, превышающий по размерам БАК, для изучения природных явлений в десятикратно меньшем масштабе, но с десятикратно большей энергией. Если этот план осуществится, то «Великий коллайдер» можно будет запустить в работу уже в 2042 году. Вся теоретическая работа Аркани-Хамеда сконцентрирована на поиске более глубокой теории, чем теория гравитации Эйнштейна. А так как Эйнштейн утверждает, что гравитация — это всего лишь искривление пространства-времени, вместо попыток объяснить её природу Аркани-Хамед ищет *истоки времени и пространства*.

Как считают учёные, важную роль в этих поисках может сыграть одна крошечная константа. На расстоянии в $1,6 \times 10^{-35}$ (то есть в десять миллионов миллиардов миллиардов раз меньше диаметра атома) метра сила притяжения оказывается сравнимой с тремя другими фундаментальными силами природы: электромагнитной силой, а также сильным и слабым ядерным взаимодействием. Существование *планковской длины* даже признавал сам Планк в 1900 году, пускай и по иным основаниям. Он полагал, что эта величина настолько универсальна, что «сохраняет своё значение во все времена и во всех культурах, даже

внеземных и нечеловеческих».^[240]

Квантовая теория успешно описывает все негравитационные силы, а значит, для понимания того, что происходит на планковской длине или около неё, может потребоваться квантовое описание гравитации. В квантовой картине мира фундаментальные силы возникают в результате действия переносящих силу частиц, которые постоянно движутся туда-сюда, как теннисный мяч, отбиваемый игроками. Для электромагнитной силы носителем является фотон, для слабого ядерного взаимодействия — три векторных бозона, а для сильного ядерного взаимодействия — восемь глюонов. Поскольку частицы-переносчики являются виртуальными, то есть то появляются из вакуума, то исчезают в нём, то чем больше массы-энергии они содержат, тем короче оказывается их существование и тем меньшее расстояние они успевают пройти за это время. Соответственно, чем более массивной является частица-переносчик, тем меньше радиус воздействия силы, которую она переносит. К примеру, из-за массивности векторных бозонов слабое ядерное взаимодействие распространяется на куда меньшее расстояние, чем диаметр атомного ядра, в то время как фотоны, обладающие нулевой массой, позволяют электромагнитной силе преодолевать огромные расстояния.

Следовательно, для того чтобы квантовое описание гравитации было возможным, должна существовать частица — переносчик гравитационного взаимодействия. Теоретики окрестили эту гипотетическую частицу гравитоном, хотя даже само её существование остаётся под сомнением из-за множества связанных с ней затруднений. К примеру, сила взаимодействия зависит от того, как часто переносчики вступают в контакт с частицами, способными «почувствовать» силу. Но гравитационное взаимодействие очень слабо по сравнению с другими силами (например, сила притяжения между протоном и электроном в атоме водорода в 10 000 миллиардов миллиардов миллиардов миллиардов раз слабее, чем электромагнитная сила). А это значит, что гравитоны почти никогда не контактируют с материей. Для того чтобы столкнуться с гравитоном, детектору массой с планету Юпитер потребовалось бы больше времени, чем существует Вселенная.^[241]

Но даже если не учитывать проблему с гравитонами, объединить теорию гравитации Эйнштейна с квантовой теорией всё равно очень сложно. Кажется, будто они совершенно несовместимы. Общая теория относительности говорит об определённости и предсказывает будущее со 100%-ной точностью, в то время как квантовая теория описывает

вероятность существования множества альтернативных вариантов будущего. Однако, как верно замечает Дэвид Тонг из Кембриджского университета, несмотря на это, физики сумели предложить квантовое описание для всех прочих фундаментальных сил природы.

Квантовая теория отрицает само существование точных местоположений в пространстве и траекторий тел, которые по нему движутся, а ведь именно эти величины являются краеугольным камнем теории гравитации Эйнштейна. Более того, квантовая теория рассматривает Вселенную на микроуровне как дискретную, в то время как для теории гравитации она непрерывна. Если и этих аргументов вам недостаточно, подумайте вот о чём: негравитационные силы Вселенной действуют в пространстве-времени, в то время как гравитация сама является пространством-временем. «Это различие может показаться несущественным, — пишет Тонг, — но чувствуется, что с гравитацией всё же что-то не так».

Планковская длина важна не только потому, что на ней сила гравитационного взаимодействия становится сравнимой с другими силами и, соответственно, требует квантового объяснения. Согласно квантовой теории, на длине Планка квантовые флуктуации так велики и локализованы, что, когда энергия возникает из ниоткуда, это происходит *в пределах её собственного горизонта событий*. Иными словами, она тут же схлопывается, формируя чёрную дыру. Очевидно, что это звучит нелепо. Если бы подобное действительно происходило, то пространство-время на планковской длине было бы постоянно скрыто от нашего взора внутри чёрной дыры, а крошечные чёрные дыры то и дело возникали бы вокруг нас в воздухе.

Судя по всему, не только общая теория относительности предсказывает существование сингулярности. Квантовая теория тоже содержит бессмысленное предположение о спонтанном самозарождении чёрных дыр. Единственное различие состоит в том, что планковская длина, несмотря на её крошечные размеры, намного больше нулевой длины сингулярности. Судя по всему, новая теория, которая объединит общую теорию относительности и квантовую теорию, может потребовать внесения фундаментальных изменений и в ту и в другую.

Выход есть — и даже без экспериментов

Самый очевидный способ создать новую квантовую теорию

гравитации — это исследовать микромир в тех невероятно малых масштабах, в которых теория Эйнштейна перестаёт работать, а время и пространство утрачивают смысл. «В конце концов, всё решают эксперименты, а для того, чтобы их провести, нам нужно изучить мир в пределах планковской длины», — говорит Аркани-Хамед.

Но невероятно малые масштабы означают огромную энергию. Чтобы вы лучше понимали контекст, давайте вспомним, что в Большом адронном коллайдере, построенном неподалёку от Женевы, разогнанные частицы могут сталкиваться с энергией 10 000 гигаэлектрон-вольт.^[242] В пределах планковской длины энергия будет составлять десять миллиардов миллиардов гигаэлектрон-вольт, то есть окажется в *миллион миллиардов* раз выше, чем та, которую человечество может получить в БАК. Для того чтобы сгенерировать такую энергию с помощью доступных на сегодняшний день технологий, потребуется кольцо-ускоритель с диаметром, примерно равным 1/10 диаметра Млечного Пути. Возможно, где-то во Вселенной и существует цивилизация, которой удалось превратить 10% соседней галактики в очень большой адронный коллайдер, но это кажется маловероятным.

Итак, шансов на проведение экспериментов в микромире практически нет. Но, так как вся Вселенная когда-то существовала в пределах планковской длины, есть вероятность, что в макромире ещё остались следы того времени. К ним можно отнести, к примеру, распределение галактик. Аркани-Хамед говорит: «Чтобы добраться до планковской длины, мы должны оперировать космическими величинами».

Сотрясения пространства-времени в тот период, когда Вселенная была ещё совсем мала, могли вызвать мощные гравитационные волны. Если астрономы как следует постараются, они смогут заметить следы этих волн в фоновом излучении космоса, остаточном свечении Большого взрыва, которое всё ещё существует вокруг нас. В марте 2014 года учёные заявили, что установка под названием BICEP2, расположенная в Антарктиде, зарегистрировала такой «космический отпечаток пальца». К сожалению, оказалось, что она всего лишь заметила пылевое облако, окутывающее Млечный Путь.^[243]

Очевидно, что во Вселенной существуют подсказки, ведущие человечество к новой теории, но они спрятаны так глубоко, что нам придётся приложить все свои силы, чтобы заметить хотя бы тень одной из них. Но надежду терять ещё рано. К подсказкам нас могут отвести умелые проводники: принципы теории относительности и квантовой теории.

9. Неизведанная страна

История поисков новой теории, объясняющей, почему существует Вселенная и откуда она появилась.

Из-за внутриатомного движения электронов атом должен излучать энергию не только электромагнитную, но и гравитационную, хоть и ничтожное количество. Поскольку реально в природе такого быть не может, то, видимо, квантовая теория должна изменить не только электродинамику Максвелла, но и новую теорию гравитации.

Альберт Эйнштейн^[244]

Есть теория, согласно которой в том случае, если кто-то точно выяснит, для чего и зачем появилась Вселенная, она тут же исчезнет и её заменит нечто другое, ещё более бессмысленное и необъяснимое. Есть другая теория, согласно которой это уже произошло.

Дуглас Адамс^[245]

Вы только что поднялись на крутую гору. Путь к вершине отнял у вас все силы и энергию. Вы истощены, но счастливы. Остановившись, чтобы передохнуть, вы смотрите на другую гору в той же горной цепи, и у вас перехватывает дыхание. Она выше той, на которую вы забрались, — не в два раза, не в пять и не в десять, а в невозможные миллион миллиардов раз.

Именно так чувствовали себя физики в начале XXI века. Они использовали все свои знания, все разработки науки и техники, чтобы построить возле Женевы Большой адронный коллайдер. С его помощью они обнаружили неуловимый бозон Хиггса, квант хиггсовского поля, который наделяет все прочие частицы массой, и были полны эйфории после этой несомненной удачи. Но теперь перед ними возникла новая вершина — планковская величина, на которой пространство, время и гравитация возникают из чего-то ещё более фундаментального, а природа

открывает секрет происхождения Вселенной. Для проведения экспериментов с такими величинами требуется в миллион миллиардов раз больше энергии, чем можно получить в БАК. Одного этого факта достаточно, чтобы заставить серьёзного учёного зарыдать.

Из-за недостижимости планковской длины многие комментаторы мрачно предрекают конец физики или её превращение в научную фантастику. Теперь теоретики могут публиковать любые измышления, ведь никто не сможет провести эксперимент, чтобы опровергнуть их слова.

На самом деле эти заявления далеки от правды. «Мысль о том, что проверить теорию можно лишь экспериментально, совершенно неверна», — говорит Нима Аркани-Хамед.

Существуют два физических принципа, в истинности которых мы уверены, так как они с поразительной точностью предсказывают именно то, что мы наблюдаем в окружающем мире с помощью наблюдений и экспериментов. Это специальная теория относительности и квантовая теория. Ни один физик не может просто взять и придумать теорию на свой вкус, ведь она должна будет отвечать принципам общей теории относительности и квантовой теории. Ограничения, накладываемые на реальность, такие строгие, что подавляющее большинство новых физических теорий постоянно признаются неверными. «Вот почему создать более глубокую и фундаментальную теорию так трудно», — замечает Аркани-Хамед.

«Теории расцветают, как тысячи цветов, но не имеют под собой твёрдой почвы физических принципов, — пишет историк науки Геннадий Горелик из Бостонского университета. — Никогда прежде в истории физики такое множество работ не приносило такого ничтожного результата».^[246]

«Создание такой геометрии пространства-времени, которая объяснила бы не только законы гравитации и электромагнетизма, но и квантовые законы, — это величайшая задача, когда-либо стоявшая перед физикой», — говорил Матвей Бронштейн, учёный, первым занявшийся вопросом квантовой гравитации ещё в 1930-х годах.^[247]

Чтобы лучше понять, как смиренная рубашка, сшитая из специальной теории относительности и квантовой теории, ограничивает действия учёных, представьте себе великого физика, который ничего не знает о мире (не задумывайтесь, как при этом он стал учёным — это вымышленная история). Он заперт в комнате без окон, но с двумя досками. На одной из них написаны принципы специальной теории относительности

и квантовой теории. На второй нет ничего, кроме указания: «Вычислить следствие для этой доски».

Некоторое время наш физик с ужасом смотрит на пустую доску, затем берёт мел и начинает лихорадочно писать. Что он записывает? Что он понял о мире?

Сила дедукции

Для начала наш физик понимает, что специальная теория относительности и квантовая теория имеют последствия для квантового спина. Как уже говорилось ранее, спин, как и всё в микромире, состоит из дискретных частиц, а его фундаментальная единица составляет $1/2$ от определённого значения ($\hbar/2\pi$).^[248]

Может показаться, что субатомная частица может иметь спин, равный любому производному значению от базового, например $19/2$, 27 или 801 . Но наш физик быстро понимает, что диапазон спинов в природе ограничен. Из бесконечного количества значений только пять совместимы с положениями специальной теории относительности и квантовой теории: 0 , $1/2$, 1 , $3/2$ и 2 .

Спин частицы определяет, как она взаимодействует с другими частицами, а значит, определяет и явления, в которых она участвует. Наш физик решает поочерёдно рассмотреть частицы с каждым типом спина и записать на пустой доске все выводы, которые он сможет о них сделать.

Для начала он вычисляет, что в соответствии с квантовой теорией частицы с полуцелым спином подчиняются принципу Паули, из-за чего стараются избегать друг друга.^[249] Раз каждой из таких частиц требуется много места, значит, когда они собираются вместе в больших количествах, формируются вытянутые, протяжённые объекты.

На самом деле частицы со спином $1/2$, известные также как кварки или лептоны, представляют собой фундаментальные строительные блоки материи. Типичным лептоном, разделяющим антисоциальную природу своих полуцелых собратьев, является электрон. Как писал Ричард Фейнман, «электроны нельзя поставить друг на друга, вот почему столы и другие предметы состоят из твёрдой материи».

Затем наш физик переходит к частицам со спином 1 . Он понимает, что строительные блоки материи могут обмениваться ими и что именно за счёт этого обмена возникает взаимодействие. Существует три способа такого обмена, которые ведут к возникновению трёх фундаментальных сил

природы.

Эти способы носят названия электромагнитной силы, а также сильного и слабого ядерного взаимодействия. Сильное ядерное взаимодействие связывает кварки по три в протоны и нейтроны и удерживает их в атомном ядре. Но на электроны его влияние не распространяется. Они удерживаются рядом с ядром за счёт электромагнитной силы, и таким образом возникает атом.

Наш запертый учёный не только вычисляет существование в природе 92 типов атомов (от самого лёгкого, водорода, до самого тяжёлого, урана), но и предполагает наличие широкого спектра химических соединений, возникающих благодаря миллионам различных способов соединения базовых атомных строительных блоков. [\[250\]](#)

Итак, с частицами с полуцелым и целым спином мы разобрались. Теперь наш физик переходит к частице со спином 0. Он сразу же понимает, что такая частица представляет собой квант поля, пронизывающего всё пространство и сопротивляющегося движению других частиц. Таким образом, частицы приобретают инерцию, то есть массу.

Подобные частицы известны нам под названием бозон Хиггса. О его открытии было триумфально объявлено командой Большого адронного коллайдера в июле 2012 года.

Затем наш физик переходит к частицам со спином 2. Он понимает, что свойством таких частиц является взаимодействие со всеми прочими частицами, что приводит к возникновению «универсальной силы». После некоторого количества расчётов наш физик делает вывод, что из существования частиц со спином 2 неизбежно следует общая теория относительности. [\[251\]](#) Это доказывает, что специальная теория относительности в некотором смысле имеет более фундаментальный характер, чем общая, иначе как вторая могла бы вытекать из первой (разумеется, в сочетании с квантовой теорией)?

Изучив общую теорию относительности, наш физик признаёт существование притяжения, действующего на длинных дистанциях в соответствии с законом обратных квадратов и заставляющего крупные тела двигаться по орбитам вокруг ещё более крупных тел. Нам известно, что планеты вращаются вокруг своих звёзд, а галактики могут двигаться вокруг других галактик. Но наш физик ничего об этом не знает, ведь он заперт в комнате без окон. Тем не менее ему удаётся логически вычислить существование Вселенной.

Частицу со спином 2 ещё никому не удалось обнаружить, и даже если

она существует, есть основания полагать, что в ближайшем будущем мы её всё равно не увидим. Однако она соответствует описанию гравитона, гипотетической частицы — переносчика силы притяжения.^[252] Поскольку у физиков имеется теория гравитации, в соответствии с которой сила притяжения переносится гравитоном и которая выступает основой для общей теории относительности, в каком-то смысле они уже создали квантовую теорию гравитации.

К сожалению, эта теория — всего лишь проекция квантовой теории на мир больших величин и низких энергий, а не более глубокая её версия, применимая к миру на уровне планковской длины.

Наконец, наш физик рассматривает последний спин — $3/2$. Частицы с таким спином обеспечивают существование *суперсимметрии*, при которой все частицы с полуцелым спином (фермионы) считаются лицевой стороной частиц с целым спином (бозонов).

На данный момент у нас нет экспериментального подтверждения того, что природа действительно использует частицы со спином $3/2$. Но, учитывая то, что все остальные виды спинов действительно существуют, есть подозрение, что имеется и этот. Согласно данной гипотезе, к примеру, у электрона есть суперсимметричный брат-близнец, называемый селектроном. Суперпартнёры известных частиц считаются хорошими кандидатами на звание составляющих частиц тёмной материи Вселенной, масса которой, как известно, в шесть раз превышает массу видимых звёзд и галактик.^[253] Учёные предполагают, что мы ещё не обнаружили суперсимметричные частицы, потому что они очень массивны и для их создания необходимо больше энергии, чем сейчас может дать столкновение частиц в Большом адронном коллайдере.

Итак, наш физик рассмотрел частицы со всеми возможными видами спина и вычислил их поведение. Но есть и ещё один вывод, который он может сделать из специальной теории относительности и квантовой теории. Они предполагают, что каждая субатомная частица должна иметь партнёра с противоположным электрическим зарядом или спином. Каждый раз, когда в результате квантовой флуктуации вакуума появляется частица, вместе с ней возникает и античастица.^[254] Например, отрицательно заряженный электрон всегда формируется вместе с положительно заряженным позитроном.

Стандартная модель

Вот полный список элементов, из которых состоит Вселенная: 12 базовых строительных блоков (шесть кварков и шесть лептонов), 12 частиц-переносчиц (фотон для электромагнитной силы, три векторных бозона для слабого ядерного взаимодействия и восемь глюонов для сильного), бозон Хиггса и античастицы. Все вместе они составляют Стандартную модель физики частиц, результат 350-летнего труда учёных. Не будет преувеличением сказать, что Стандартная модель и общая теория относительности описывают весь мир.

Самое удивительное в Стандартной модели то, что такое небольшое количество ингредиентов, соединяющихся таким небольшим количеством способов, создаёт столь многое вокруг нас. Готтфрид Лейбниц, немецкий математик XVII века, замечал: «Бог выбрал лучший из миров, который наиболее прост для понимания и наиболее богат на явления».^[255]

Удивительно, но наш физик, запертый в комнате без окон всего с двумя досками и куском мела, смог вычислить основные свойства этого мира. «Физика ужасно ограничена квантовой теорией и теорией относительности, — говорит Аркани-Хамед. — Они делают Вселенную практически неизбежной».

Практически — потому что эти ограничения не определяют массы фундаментальных частиц, а также общее количество кварков и лептонов. Обычная материя состоит всего из четырёх частиц: верхнего кварка, нижнего кварка, электрона и электронного нейтрино. Например, протон в ядре атома формируется из двух верхних и одного нижнего кварка, а нейтрон — из двух нижних и одного верхнего. Но на этом природа не остановилась. Она создала более тяжёлые версии четырёх базовых частиц: странный кварк, очарованный кварк, мюон и мюонное нейтрино. Затем последовали и их утяжелённые версии: прелестный кварк, истинный кварк, тау и тау-нейтрино. Эти частицы не играют практически никакой роли в современной Вселенной, так как энергия, необходимая для их формирования, существовала лишь в первые доли секунды после Большого взрыва. Как шутил американский физик И. А. Раби, непонятно, кто их заказывал.^[256]

Стандартная модель не объясняет, зачем природа наделила каждый свой строительный блок двумя партнёрами, а также почему распределила между ними массу таким образом, как мы это наблюдаем. Можно предположить, что это не последнее слово природы, а лишь приблизительное видение более глубоких процессов, которые нам ещё предстоит открыть. Но эти отклонения не должны отвлекать нас от важного

факта: принципы специальной теории относительности и квантовой теории налагают на вероятности такие строгие ограничения, что в результате определяют почти всё в физическом мире. «Интересно, был ли у Бога хоть какой-то выбор при создании мира?» — писал Эйнштейн. Квантовая теория и специальная теория относительности подсказывают нам, что ответ на этот вопрос отрицательный.

Как уже упоминалось в начале этой главы, некоторые люди считают физиков-теоретиков фантазёрами, которые заняты лишь тем, что воображают удивительные и странные вещи. Проверить их правоту экспериментальным путём невозможно, а значит, нельзя и доказать, что они врут. Но тот факт, что специальная теория относительности и квантовая теория почти полностью описывают процессы в окружающей нас Вселенной, может означать лишь одно: в целом они верны. Это, в свою очередь, делает их тугой смиренной рубашкой, сковывающей действия физиков, которые пытаются докопаться до более глубокой теории. Квантовая теория и специальная теория относительности оставляют так мало места для манёвра, что двигаться в нём почти невозможно. «Почти все твои попытки обречены на провал. Большинство теорий, рождаемых физиками, умирает во младенчестве», — говорит Аркани-Хамед.

В 2017 году существовал лишь один кандидат на звание более глубокой теории, соответствующей всем ограничениям, — теория струн. [\[257\]](#)

Струны в космосе

Теория струн, также известная как теория суперструн, возникла в результате попытки понять, что собой представляет сильное ядерное взаимодействие. Сильным его называют не просто так. Для того чтобы оторвать два кварка друг от друга, требуется столько энергии, что в пространстве между ними при этом спонтанно возникает пара «кварк–антикварк». Представьте себе, что вы пытаетесь подойти к другу в толпе, но между вами постоянно втискиваются другие люди. Вот так чувствуют себя кварки. Сильное ядерное взаимодействие удерживает их в границах протонов и нейтронов в атомных ядрах и делает выделение единичного кварка невозможным. [\[258\]](#)

Что странно в сильном ядерном взаимодействии, так это то, что оно растёт по мере увеличения расстояния между кварками. Сравните его с силой притяжения (чем дальше два массивных тела друг от друга, тем

гравитация слабее) или магнетизмом (если увеличить расстояние между магнитами, он тоже ослабнет). Причина размывания этих сил в том, что они распространяются во всех направлениях.^[259] Но в том случае, если сила ограничена узким каналом между двумя телами, она действительно может расти по мере их расхождения, как при растяжении пружины или резиновой ленты.^[260] Точно так же это работает и в случае сильного ядерного взаимодействия между кварками. И это их поведение стало первым признаком того, что фундаментальные строительные блоки Вселенной могут быть похожи не на крошечные точки, а на одномерные энергетические струны.

В данной теории, пионером которой в 1968 году стал итальянский физик Габриэле Венециано, эти струны вибрируют, как на музыкальном инструменте, и каждая вибрация соответствует определённой фундаментальной частице.^[261] «По сути, теория струн описывает пространство и время, массу и энергию, гравитацию и свет, всё Божье творение как музыку», — говорит писатель Рой Х. Уильямс.^[262]

Быстро вибрирующая скрипичная струна имеет больше энергии, чем вибрирующая медленно. Соответственно, суперструна с быстрой вибрацией соответствует субатомной частице с высоким значением массы-энергии, например топ-кварку, а с медленной вибрацией — с низким, например электрону. Однако из-за сложности математических вычислений физики не могут быть до конца уверены, что все возможные типы вибраций соответствуют всем известным фундаментальным частицам.

Струны могут быть либо разомкнутыми, либо кольцеобразными, и эта конфигурация определяет их взаимодействие с другими струнами.

Теория струн автоматически соотносит каждую частицу с полуцелым спином (частицу-переносицу) с частицей с целым спином (материей) и наоборот. Именно потому, что она включает в себя суперсимметрию, эта теория называется теорией суперструн. Как уже говорилось, учёным ещё не удалось обнаружить ни одного суперпартнёра существующих частиц, хотя приверженцы теории струн полагают, что они просто слишком массивны, чтобы их можно было получить в БАК.

Теория струн устраняет потенциальный конфликт между двумя важнейшими идеями физики: редукционизмом и унификацией. Первая концепция предполагает, что все явления в мире происходят в результате взаимодействия небольшого количества фундаментальных строительных блоков (в Стандартной модели — кварков и лептонов). Вторая утверждает, что несхожие природные явления представляют собой лишь разные грани

одного фундаментального процесса, например электрическое и магнитное поля являются всего лишь аспектами единого электромагнитного поля.

Редукционизм, доведённый до логического завершения, должен продемонстрировать, что всё во Вселенной состоит из элементов одного типа. Но если такой строительный блок действительно фундаментален, то есть не имеет составляющих, которые можно поменять местами, как он может иметь разные аспекты? Это невозможно, если речь идёт о частице, похожей на точку, но допустимо, если такой блок представляет собой одномерную струну, способную на множество типов колебаний. Соответственно, конфликт между редукционизмом и унификацией исчезает.

Фундаментальные частицы не просто имеют определённые массы, которые можно соотнести с частотой вибрации струны. Они также взаимодействуют друг с другом с помощью фундаментальных сил. В 1915 году Эйнштейн продемонстрировал, что сила притяжения — это лишь проявление искривления четырёхмерного пространства-времени, а в 1920-х годах два физика решили развить эту идею. Независимо друг от друга Теодор Калуца и Оскар Клейн доказали, что если бы пространство-время имело ещё одно, пятое пространственное измерение, то последствиями его искривления могли бы быть и гравитация, и электромагнетизм. Наличие такого измерения совсем не очевидно, но, по словам учёных, мы могли его не заметить, если оно не похоже на направления вперёд-назад, вверх-вниз и влево-вправо, а свёрнуто до субатомных размеров.

Согласно схеме Калуцы и Клейна, даже когда субатомная частица находится в покое в обычном пространстве, в пятом измерении она вращается по кругу, как сумасшедшая белка в колесе. Момент этого вращения и *является* электрическим зарядом. А причина того, что электрический заряд проквантован, то есть состоит из множества базовых частиц, заключается в том, что частицы ведут себя как волны. При этом единственно допустимыми являются те волны, длина которых позволяет им обернуться вокруг пятого измерения один, два, три раза и так далее. Такие волны в обязательном порядке имеют момент (заряд), кратный моменту (заряду) самой длинной из допустимых волн.

В 1920-х годах, когда Калуца и Клейн высказали своё предположение, сильное и слабое ядерное взаимодействие, действующие лишь в микроскопических масштабах атомного ядра, ещё не были открыты. Но их поведение можно симитировать, добавив ещё несколько пространственных измерений, свёрнутых до сверхмалых размеров. В конечном итоге таких измерений нам потребуется шесть. Соответственно, гипотетические струны

могут вибрировать в десятимерном пространстве-времени (девяти пространственных и одном временном измерении).

Физик и автор научно-популярных книг Брайан Грин из Колумбийского университета в Нью-Йорке пишет: «Сначала приходит Эйнштейн и говорит: “Пространство и время могут изгибаться и искривляться — это и есть гравитация”. А потом приходит теория струн и добавляет: “Не только гравитация, а ещё и квантовая механика и электромагнетизм, но только если во Вселенной больше измерений, чем мы можем увидеть».

[\[263\]](#)
«Сначала людям не нравились дополнительные измерения, — рассказывает специалист по теории струн Эдвард Виттен из Института перспективных исследований в Принстоне, — но они приносят большую пользу. Благодаря им теория струн может описать все элементарные частицы и их взаимодействия, включая гравитационное».

Плюсы и минусы теории струн

Теория, которая заявляет, что пространство-время имеет десять измерений, кажется полностью противоречащей нашей трёхмерной реальности (четырёхмерной, если учитывать время). Но это не единственная её проблема. Для начала струны должны быть невероятно маленькими. Согласно теории они имеют планковскую длину 10^{-35} метра, то есть в миллион миллиардов раз меньше атома водорода. Соответственно, даже самые жёсткие столкновения частиц в БАК не смогут обеспечить достаточно энергии для прямого изучения мира струн. А так как величины и энергии, существующие в этом мире, слишком отличаются от нашей реальности, они не оставляют на ней заметного отпечатка. Итак, струны не только неподвластны нашим экспериментам, но и не позволяют нам сделать хоть какие-либо предположения, которые можно было бы эмпирически проверить. Дэвид Тонг говорит: «Поразительно, как и Стандартная модель, и общая теория относительности вытекают из теории струн. Но на самом деле физикам бы хотелось, чтобы из неё вытекло что-нибудь неожиданное».

Кроме того, теория струн требует от природы существования суперсимметрии. Чем более высокие энергетические уровни затрагивают исследования на БАК, тем меньше в микромире остаётся мест, где могли бы прятаться суперсимметричные частицы. Если они не объявятся в ближайшее время, теория окажется нежизнеспособной. Даже критики

признают, что теория струн — это элегантная математическая конструкция, но существует ещё множество таких же прекрасных идей, которые природа в своей мудрости решила не применять на практике.

Ещё одна проблема теории струн состоит в том, что дополнительные измерения могут пересекаться множеством различных способов. Согласно некоторым оценкам, это ведёт к возникновению как минимум 10^{500} отдельных «струнных вакуумов», в каждом из которых количество и массы фундаментальных частиц различаются, равно как и число фундаментальных взаимодействий и силы их воздействия. Физики предполагали, что, раз специальную теорию относительности и квантовую теорию так сложно объединить, любая гипотеза, которая сможет это сделать, должна быть уникальной и верно предсказывать наблюдаемые свойства фундаментальных частиц и сил. Но, как говорит Аркани-Хамед, они ошибались.

Вместо этого учёные обнаружили огромное количество «решений» теории струн, соответствующих и специальной теории относительности, и квантовой теории. Некоторые называют теорию струн «пучком решений в ожидании задачи». В истории физики такое уже случалось. Например, существует бесконечное число возможных электромагнитных волн, каждая из которых имеет свою длину. Все они являются решениями для максвелловского уравнения электромагнетизма. Или в мире существует множество атомов водорода, десятки столов и один человек, который читает эти слова. Все вы представляете собой решения для уравнения Шрёдингера.

Вопрос в том, решениями для какой теории являются 10^{500} струнных вакуумов.

В какой-то момент специалисты по теории струн изучали пять различных её вариаций, известных под названиями Тип I, Тип IIa, Тип IIb, Гетеротический тип $O(32)$ и Гетеротический тип $E_8 \times E_8$. Но в середине 1990-х годов Пол Таунсенд из Кембриджского университета и Крис Халл из Лондонского университета королевы Марии доказали, что это всего лишь пять способов реализации суперсимметрии, то есть разные версии единой теории 11 измерений. Эдвард Виттен назвал её М-теорией, но при этом так и не сказал, что обозначает буква М. «М-теория с её 11 измерениями охватывает всё», — заявляет Дэвид Берман из Лондонского университета королевы Марии.

Итак, 10^{500} струнных вакуумов — это решения М-теории. Все вместе они выглядят как группа Вселенных, или Мультивселенная, в которой все

элементы, вероятнее всего, связаны друг с другом. «Многочисленны и странны Вселенные, которые дрейфуют, как пена, по реке Времени», — писал фантаст Артур Кларк.^[264] Вполне возможно, он имел в виду струнные вакуумы.

Физики предпочли бы теорию, которая может точно предсказать свойства фундаментальных частиц и сил. Вместо этого им приходится искать ответ на вопрос, почему из всех 10^{500} Вселенных мы находимся именно в этой. Аркани-Хамед говорит, что это нам пока неизвестно.

Учёные могли бы попытаться подсчитать количество Вселенных, в каждой из которых масса электрона, сила электромагнитного взаимодействия и другие параметры имели бы одно из своих возможных значений. Чаще всего при таком подсчёте должны были бы встречаться Вселенные, в которых массы субатомных частиц и значения фундаментальных сил были бы близки к нашим. Если же оказалось бы, что мы живём в особой Вселенной, непохожей на другие, по теории струн был бы нанесён серьёзный удар. «Проблема лишь в том, что мы не можем придумать, как посчитать Вселенные», — замечает Аркани-Хамед.

Бермана это не очень беспокоит. «На нашем пути изучения математической структуры теории струн ещё рано отчаиваться, — говорит он. — Мы ещё и близко не подошли к реальной физике».

Но, несмотря на все затруднения с теорией струн, она имеет несколько убедительных характеристик, из-за которых множество физиков по всему миру не просто интересуются ею, но и настроены в её отношении крайне оптимистично. Начнём с того, что она предполагает существование вибрирующей замкнутой струны со спином 2. Как уже говорилось выше, частица со спином 2 должна быть гравитоном, частицей-переносчицей силы притяжения. Кроме того, неизбежным следствием из существования частиц со спином 2 является общая теория относительности. Как мы знаем, объединение квантовой теории и эйнштейновской теории гравитации — это Святой Грааль физики. Поэтому квантовая теория струн, одновременно включающая в себя общую теорию относительности, кажется такой привлекательной.

Но для Бермана главная её прелесть не в этом, а в её богатстве. Он сравнивает теорию струн с ньютоновской теорией гравитации: «Она объясняет не одно явление, а многие: движение планет, приливы и отливы, предварение равноденствий и так далее. Теория Ньютона дала физикам материал для работы на вечность вперёд. Точно так же и с теорией струн — наша работа с ней далека от завершения. Она может продолжаться ещё

очень долго».

До 1985 года теория струн находилась на задворках большой физики, а работать над ней соглашались лишь фанатики, уверенные в её правоте. Всё изменилось, когда Джон Шварц из Калифорнийского технологического института в Пасадине и Майк Грин из Лондонского университета королевы Марии совершили прорыв.

Физика содержит множество симметрий — аспектов различных ситуаций, которые остаются неизменными при изменении прочих условий. Например, квадрат продолжает выглядеть квадратом, если его повернуть на 90, 180 или 360 градусов. В 1918 году немецкий учёный Эмми Нётер сделала потрясающее открытие. Оказывается, симметрии лежат в основе многих великих законов природы. Возьмём, к примеру, закон сохранения энергии, который гласит, что энергию нельзя создать или уничтожить — только изменить её форму. Он является следствием симметрии временного сдвига, благодаря которой эксперимент будет иметь один и тот же результат, если провести его сегодня, завтра, через месяц или через год.

Открытие того, что законы физики основываются на симметрии, стало одним из величайших в современной науке. Именно поэтому сотрудники БАК охотятся за симметричными явлениями, указывающими на новые фундаментальные законы. Многие теории в квантовом мире не сохраняют классических симметрий. Например, специальная теория относительности лишается своей ключевой симметрии Лоренца. Шварц и Грин выяснили, что теория струн остаётся симметричной, или, пользуясь научным языком, не содержит аномалий. Берман отмечает: «Все симметрии классической физики применяются автоматически. Удивительным образом теория струн оказывается совместимой со всем, что нам уже известно».

Открытие Шварца и Грина запустило «первую струнную революцию», в ходе которой теория струн из узкой области превратилась в основное поле для исследований. «Второй струнной революцией» было осознание того, что все теории струн представляют собой версии М-теории, а также того, что самое важное в ней, на удивление, не струны.

Сила браны

Наш повседневный трёхмерный мир содержит не только одномерные объекты, но и объекты двумерные, например столешницы, и трёхмерные, например деревья и людей. По аналогии во Вселенной М-теории с её десятью пространственными измерениями должны иметься не только

одномерные струны, но и двумерные, трёхмерные, четырёхмерные тела и так далее. Эти многомерные тела учёные совокупно называют бранами, или, как окрестил их Таунсенд, p -бранами, где p обозначает количество пространственных измерений. Согласно этой терминологии струна — это 1-брана.

Выясняется, что в М-теории существование бран не только вероятно, но и обязательно. Это разнообразие тел, существующих в различном количестве измерений, означает, что в теории, которую ищут физики, струны вряд ли должны играть фундаментальную роль. Судя по всему, для объединения специальной теории относительности и квантовой теории требуется большая группа объектов. «В некоторых областях теории проявляется действие частиц, в некоторых — струн, в некоторых — 2-бран, 3-бран и так далее», — объясняет Аркани-Хамед.

В этой картине мира Макровселенная представляет собой трёхмерный остров (3-брану), качающийся на поверхности десятимерного пространства. В таком сценарии перед струнами открываются две возможности. Один конец струны может быть прикреплён к 3-бране так, что она будет выглядеть как водоросль на дне Саргассова моря, или же струна может быть замкнута в кольцо и не контактировать с 3-браной. Известные нам фундаментальные частицы, входящие в Стандартную модель, относятся к первому типу, а гравитон представляет собой кольцо, способное двигаться за пределами браны и исследовать все десять пространственных измерений.

Эта теория предлагает интуитивное объяснение одной из величайших загадок физики: почему гравитация настолько слабее других фундаментальных сил природы. Как я уже упоминал, сила притяжения между протоном и электроном в атоме водорода в 10 000 миллиардов миллиардов миллиардов раз меньше, чем электромагнитная сила. В 1999 году Лиза Рэнделл из Гарвардского университета и Раман Сундрам из Мэрилендского университета в Колледж-Парке выяснили, что дополнительные измерения не обязательно должны быть свёрнуты до субатомных размеров. Если они искривлены определённым образом, то могут оставаться незамеченными, даже если будут величиной со всю Вселенную.^[265]

Согласно сценарию, предложенному Рэнделл и Сундрамом, причина того, что частицы-переносицы негравитационного (например, электромагнитного) взаимодействия достаточно сильны, состоит в том, что они существуют в пределах 3-браны. Гравитоны же имеют доступ ко всем десяти измерениям, поэтому их воздействие размыто.

Хотя это интуитивное объяснение слабости гравитации выглядит достаточно привлекательно, у нас пока что нет никаких доказательств существования огромных пространственных измерений, скрытых от нашего взора. Теория струн предлагает огромное количество возможных объяснений природных явлений, но не содержит почти ни одного положения, которое позволило бы учёным делать точные и проверяемые предсказания.

Если наша Вселенная действительно представляет собой огромный трёхмерный остров, плавающий на поверхности десятимерного пространства-времени, будет логично задать себе вопрос: а единственный ли он? Если нет, то может ли одна 3-брана столкнуться с другой? Именно на таком варианте развития событий строится новая гипотеза Большого взрыва, предложенная группой учёных под руководством физика Нила Турока из института «Периметр» в Уотерлу, Канада.

Согласно этой схеме, однажды две пустые 3-браны приблизились друг к другу в пятом измерении (за четвёртое мы принимаем время). Представьте их себе как два куска хлеба, который кладут один на другой. Две 3-браны прошли сквозь друг друга, но в пятом измерении они обладали огромной энергией, и в момент их соприкосновения она должна была куда-то деться. Поэтому возникла масса-энергия субатомных частиц на бранах, а затем они раскалились до невероятных температур. Иными словами, произошёл Большой взрыв.

Схема Турока гласит, что огненный шар, возникший на каждой бране, расширился и остыл, а из обломков сформировались галактики, которые начали разлетаться, и в конце концов материя на каждой бране оказалась столь разреженной, что они, по сути, снова стали пустыми. Вакуум в пятом измерении действует как пружина, снова прижимающая браны друг к другу. В итоге они сталкиваются, и цикл повторяется снова и снова. Наш Большой взрыв — это всего лишь одно событие из длинной череды, которая началась в прошлом и продолжится в будущем.

Модель циклической Вселенной не похожа на стандартный космологический сценарий, в котором Вселенная в первые доли секунды своего существования претерпевает невероятно резкое и яростное расширение, известное под названием «инфляция». «Если бы Вселенная начала стремительно расширяться сразу же после своего возникновения, гравитационные волны двигались бы сквозь пространство-время и весь космос был бы наполнен эхом такого расширения», — говорит Турок. Циклическая Вселенная не требует, чтобы пространство-время сотрясали жёсткие изменения, а потому не предсказывает существования таких

гравитационных волн.

Существование циклической Вселенной — это довольно смелая гипотеза. Сама по себе теория струн ещё не до конца доработана. Она может оказаться как частью более глубокой теории, объясняющей истоки пространства, времени и всей Вселенной, так и полной чушью. Но специалисты по теории струн верят, что находятся на правильном пути — в первую очередь потому, что это вообще единственный возможный путь, ведь, несмотря на многочисленные усилия, никому ещё не удалось создать другую «теорию всего», объединяющую фундаментальные силы. Но у сторонников теории струн есть и ещё одно основание для оптимизма: потенциально она может объяснить парадокс существования самых загадочных объектов во Вселенной — чёрных дыр.

Чёрные дыры

Согласно теории гравитации Эйнштейна, в сердце чёрных дыр материя сжимается до бесконечной плотности, и все известные нам законы физики перестают работать. Но сингулярность — не единственное место в чёрной дыре, которое ставит под сомнение наше понимание реальности.

Как уже упоминалось выше, горизонт событий — это воображаемая мембрана, окружающая сингулярность и обозначающая точку невозврата для попадающего на неё света и материи. Когда мы говорим о размерах чёрной дыры, мы имеем в виду диаметр горизонта событий.

В 1974 году Стивен Хокинг шокировал научный мир заявлением, что чёрные дыры на самом деле не чёрные. К этому выводу он пришёл, проанализировав квантовые процессы поблизости от чёрной дыры. Давайте вспомним, что в соответствии с принципом неопределённости Гейзенберга вакуум порождает пары частиц и античастиц. Эти виртуальные частицы живут крайне недолго, аннигилируя и исчезая всего за доли секунды. Но Хокинг понял, что вблизи горизонта событий чёрной дыры должно происходить и происходит нечто совершенно иное.

Одна половина пары «частица–античастица» может начать двигаться прочь от чёрной дыры, пытаясь избежать её притяжения, а вторая — упасть в неё через горизонт событий. После этого она уже не вырвется наружу, чтобы столкнуться со своей парой и аннигилировать. Частица, которой удалось сбежать, из виртуальной превратится в реальную с куда более долгим сроком жизни.

Хокинг понял, что подобные процессы постоянно происходят вокруг

горизонта чёрной дыры. Из-за того что одиночные частицы постоянно рвутся прочь от неё, возникает излучение Хокинга.

Определяющей характеристикой чёрной дыры является тот факт, что ничто попавшее в неё не может вырваться наружу. Излучение Хокинга испускает не сама дыра, так как его частицы в неё не попадают. Оно рождается в вакууме на границе горизонта событий.

Но энергия, которая создаёт излучение Хокинга, должна откуда-то браться, и единственным её источником может быть гравитация самой чёрной дыры. Частицы постоянно утекают в открытый космос, и гравитационное поле чёрной дыры ослабевает, заставляя её постепенно уменьшаться, или «испаряться».

Чем меньше чёрная дыра, тем сильнее её излучение Хокинга.^[266] Для чёрных дыр, имеющих звёздную массу, и сверхмассивных чёрных дыр, находящихся в центре большинства галактик, эта утечка частиц настолько минимальна, что предполагаемый срок жизни дыр превышает текущий возраст Вселенной. Но по мере того, как чёрная дыра уменьшается, её излучение Хокинга становится всё сильнее и сильнее. У крошечной чёрной дыры (а этой стадии достигнет каждая дыра, прежде чем исчезнуть окончательно) оно будет ослепительно-ярким. Что и говорить, чёрные дыры умирают с блеском.

По определению всё то, что светится, имеет температуру. Это верно и для чёрных дыр, сверкающих излучением Хокинга. С первого взгляда это предположение кажется безумным, потому что чёрная дыра — это не что иное, как бездонный колодец в пространстве-времени, не содержащий никакого источника тепла. Но она разогревается не из-за каких-то своих внутренних свойств, а из-за внешних квантовых процессов, протекающих в окружающем её вакууме.

Тот факт, что излучение Хокинга заставляет чёрную дыру испаряться и в итоге приводит к её исчезновению, создаёт значительный научный парадокс. Фундаментальный закон физики гласит, что информацию нельзя создать или уничтожить. Возьмём, к примеру, Луну. Используя законы Ньютона, мы можем предсказать её завтрашнее положение на небе, исходя из сегодняшнего. Значит, информация о её будущем местоположении заключена в информации о настоящем. Пока Луна движется по небосводу, мы не приобретаем и не теряем информацию — она остаётся в сохранённом виде. С другой стороны, при «испарении» чёрной дыры информация утрачивается.

Чёрная дыра звёздной массы когда-то была звездой. Для того чтобы точно определить параметры такого небесного тела, требуется большой

объём информации, например, о типе, местоположении и скорости каждого её атома. Но когда чёрная дыра полностью «испаряется» из-за излучения Хокинга, от неё ничего не остаётся. Куда же исчезает информация? Вот так вкратце формулируется информационный парадокс чёрных дыр.

Этот парадокс настолько удивителен, что сам Хокинг много лет верил, будто чёрные дыры действительно нарушают один из самых важных принципов физики: «Я полагал, что информация в чёрной дыре действительно исчезает, и это было моей самой большой ошибкой — или по крайней мере самой большой чушью в науке». [\[267\]](#)

Очевидно, что виновник исчезновения информации — это излучение Хокинга. Возможно ли, что оно каким-то образом уносит в космос знания о звезде, которая породила чёрную дыру? Но единственной характеристикой излучения Хокинга (технически имеющего спектр чёрного тела) является температура. [\[268\]](#) Только эту информацию оно может перенести от чёрной дыры.

Ключ к разгадке информационного парадокса чёрных дыр предложил израильский физик Яков Бекенштейн. В 1972 году он открыл одну необычную характеристику горизонта событий. Оказывается, площадь его поверхности связана с энтропией чёрной дыры. [\[269\]](#)

Понятие энтропии происходит из теории теплоты. Вторым закон термодинамики звучит так: «Энтропия постоянно увеличивается». Это один из самых важных принципов науки, который объясняет, почему дворцы рассыпаются в прах, яйца бьются, а люди стареют. Открытие Бекенштейна, сделанное ещё до утверждения Хокинга о существовании у чёрных дыр теплового излучения, стало первым сигналом о существовании связи между чёрными дырами и теплом. Удивительным образом в чёрных дырах сходятся воедино три величайшие физические теории: теория гравитации Эйнштейна, квантовая теория и термодинамика, то есть теория теплоты. Вот почему понимание чёрных дыр так важно для объединения квантовой теории и общей теории относительности.

Энтропия тесно связана с информацией, так как является мерой её нехватки или нашего незнания о состоянии системы. Если говорить точнее, энтропия измеряет беспорядочность системы на микроуровне и определяется как «количество микросостояний, соответствующих определённому макросостоянию». Возьмём, к примеру, кирпич. Для него это будет количество комбинаций, которые могут составить его атомы таким образом, чтобы при этом он не переставал выглядеть кирпичом. Тот факт, что у горизонта событий чёрной дыры есть энтропия, означает, что он

вовсе не такой гладкий и ровный, каким его представляет общая теория относительности, а имеет собственную микроскопическую структуру.

В 1993 году лауреат Нобелевской премии по физике голландец Герард т'Хоофт из университета Утрехта предположил, что горизонт событий должен быть неровным на микроскопическом уровне и что именно в углублениях и выступах его микроландшафта и скрывается информация, описывающая звезду, которая стала чёрной дырой. Горизонт событий можно сравнить со сверхплотным компакт-диском, каждый участок которого со стороной, равной планковской длине (то есть имеющий площадь около 10^{-70} квадратных метров), содержит эквивалент 0 или 1 в бинарной системе. «На самом деле чёрная дыра имеет очень богатую структуру, как Земля с её горами, долинами, океанами и так далее», — говорит Кип Торн из Калифорнийского технологического института в Пасадине.

Вскоре после того как т'Хоофт предположил, что недостающая информация из чёрной дыры может быть закодирована в горизонте событий, Леонард Сасскинд из Стэнфордского университета показал, как эта гипотеза может быть включена в теорию струн. Представьте себе горизонт событий чёрной дыры как массу перепутанных вибрирующих струн. Используя этот образ, Эндрю Стромингер из Калифорнийского университета в Санта-Барбаре и Камран Вафа из Гарвардского университета сумели предсказать точное значение энтропии чёрной дыры, рассчитанной Бекенштейном.^[270]

Поскольку излучение Хокинга зарождается в вакууме в непосредственной близости от горизонта событий чёрной дыры, можно предположить, что микроскопические неровности его ландшафта оказывают на него влияние. Эти неровности «модулируют» излучение, как музыка модулирует волну радиостанции. Таким образом, информация о звезде, предшествовавшей появлению чёрной дыры, переносится во Вселенную излучением Хокинга. Она не теряется, а значит, один из самых важных законов физики продолжает действовать.

Это решение информационного парадокса чёрных дыр кажется несколько надуманным. Нам всё ещё требуется более глубокая теория, которая объединила бы в себе эйнштейновскую теорию гравитации и квантовую теорию. Но если это предположение верно, то из него вытекают неожиданные выводы. Информация, полностью описывающая звезду (трёхмерный объект), сохраняется на горизонте чёрной дыры (двумерной поверхности). Это делает горизонт похожим на голограмму. Представьте

себе, что было бы, если бы каждая лягушка носила с собой голографическое изображение головастика, которым она когда-то была. Чёрные дыры делают примерно так же с голограммами звёзд.

Если бы эта гипотеза применялась только к таким странным объектам, как чёрные дыры, она казалась бы всего лишь любопытным предположением. Но т'Хоофт и Сасскинд считают, что идея о голографическом изображении может дать нам ценную информацию обо всей Вселенной.

Голографическая Вселенная

Как и любая чёрная дыра, Вселенная ограничена горизонтом. Космический «световой горизонт» — это не край Вселенной, потому что она может продолжаться бесконечно, но граница наблюдаемого мира. Внутри этого горизонта находятся звёзды и галактики, свету которых хватило времени с момента рождения Вселенной (то есть 13,82 миллиарда лет), чтобы долететь до нас. Света звёзд и галактик за горизонтом этого времени оказалось мало. Он всё ещё движется к нам. [\[271\]](#)

Сасскинд и т'Хоофт предположили, что, раз информация, описывающая трёхмерную звезду, может быть записана на двумерном горизонте чёрной дыры, информация о трёхмерной Вселенной тоже может быть представлена в виде голограммы на её горизонте. Эту идею можно толковать разными способами. Согласно одному из них, Вселенную по каким-то причинам можно полностью описать, используя на одно измерение меньше, чем обычно. Что уже само по себе странно. Ещё одно, более широкое толкование утверждает, что мы живём на поверхности горизонта, но верим, будто находимся внутри него. Есть и ещё одно объяснение, звучащее столь же странно: возможно, наша трёхмерная Вселенная — это в буквальном смысле проекция двумерной голограммы на окружающем её горизонте. В таком случае все мы, включая и вас и меня, — голограммы!

Подобные рассуждения по аналогии вряд ли можно назвать точным научным методом. Кроме того, переходить от свойств чёрных дыр к свойствам всей Вселенной — это слишком большое допущение. Но в 1998 году аргентинский физик Хуан Малдасена опубликовал работу, в которой не только упрочил идею, что мы живём в голографическом мире, но и перевернул всю физику с ног на голову.

Конформные теории поля — это класс теорий, которые соответствуют

как квантовой теории, так и специальной теории относительности (одной из таких теорий является Стандартная модель). Малдасена представил себе пятимерную Вселенную, наполненную фундаментальными частицами, которые движутся в соответствии с эйнштейновской теорией гравитации (такую Вселенную также можно назвать гиперпространством). Затем он сделал вывод, что такая Вселенная должна быть окружена четырёхмерной границей, как двумерная поверхность воздушного шара окружает объём воздуха в нём. Граница должна содержать в себе фундаментальные частицы, движущиеся в соответствии с конформной теорией поля.^[272]

Чудесное открытие Малдасены состояло в том, что уравнения границы содержат ту же информацию и описывают те же физические явления, что и более сложные уравнения для всей пятимерной Вселенной. Иными словами, влияние гравитации на внутреннюю часть такого мира математически эквивалентно теории квантового поля на его границе. «Дуалистичность квантового и гравитационного описания открывает более глубокую связь между квантовой теорией и гравитационной теорией Эйнштейна, — говорит Берман. — Они кажутся совершенно непохожими друг на друга, но может оказаться, что это всего лишь две стороны одной монеты».

Аркани-Хамед утверждает: «Кажется, будто квантовая теория и теория относительности враждуют друг с другом, но на самом деле они даже могут друг друга поддерживать».

Научное сообщество посчитало работу Малдасены такой важной, что на неё сослались более 10 000 раз в других научных трудах. Сегодня её рассматривают как важную веху в истории современной физики. Некоторые физики полагают, что обнаружение связи между гравитацией и квантовой теорией так же важно, как открытие Максвелла о том, что электричество, магнетизм и свет можно объединить в единое целое.

Берман предупреждает, что результаты исследований Малдасены применимы только в упрощённой, игрушечной модели Вселенной, известной как пространство анти-де Ситтера. Помимо всего прочего, в нём пространство не расширяется, как в реальности. Тем не менее учёные полагают, что эти результаты применимы к реальной Вселенной, хотя никто ещё не сумел этого доказать.

Что такое пространство

Открытие Малдасены подняло важный вопрос: как квантовое поле на

границе гиперпространства создаёт гравитацию внутри него? В попытке ответить Марк Ван Раамсдонк из Университета Британской Колумбии в Ванкувере в 2015 году создал ещё более простую модель. Это было пустое гиперпространство, соответствующее единственному квантовому полю на границе. Как и квантовые поля, его скрепляла в единое целое запутанность — мгновенное влияние, которое Эйнштейн называл *жутким дальнодействием*.^[273]

Используя математические инструменты, разработанные другими учёными, Ван Раамсдонк сумел постепенно устранить запутанность на границе. После этого он увидел, как пространство-время его Вселенной начало постепенно растягиваться, как будто жевательная конфета. Через некоторое время сама структура пространства-времени стала разрушаться, а когда запутанность была уменьшена до нуля, его просто разорвало на кусочки.

Ван Раамсдонк заключил, что действующие на больших расстояниях связи, которые в пространстве-времени создаёт запутанность, скрепляют его воедино. «Пространство-время — это лишь геометрическое представление того, как связываются между собой объекты в квантовой системе», — говорит он.^[274]

Если Ван Раамсдонк прав, пространство-время могло возникнуть из «квантовой информации». Но результаты его работы применяются только к упрощённой модели, и доказать их верность в реальном мире невозможно. Тем не менее существует и ещё одна гипотеза, утверждающая, что запутанность является необходимым условием для существования пространства-времени.

В 2013 году Малдасена и Сасскинд обратили внимание научного сообщества на две работы Эйнштейна, опубликованные в одном и том же 1935 году. С первого взгляда казалось, что они касаются совершенно разных вещей, но Малдасена и Сасскинд полагали, что на более глубоком уровне эти работы повествуют об одном и том же.

В первой работе Эйнштейн, Борис Подольский и Натан Розен писали о квантовом феномене запутанности и (ошибочно) отмечали, что подобное «жуткое дальнодействие» кажется настолько бессмысленным, что лишь подтверждает неполноту и неправильность квантовой теории.^[275] Во втором труде Эйнштейн и Розен рассказывали, что в пространстве-времени существуют особые короткие пути, позволяющие сократить дистанцию, и что их существование допускается общей теорией относительности.^[276] Сегодня они известны нам под именем «кротовые норы». Этот термин

предложил американский физик Джон Уилер, также давший название чёрным дырам. Дыра в яблоке позволяет червяку быстро попасть с одной стороны фрукта на другую, а не ползти по поверхности. Точно так же и «кротовая нора» может помочь космическому путешественнику срезать путь по Вселенной. Войдя в неё с одной стороны и преодолев, возможно, лишь пару метров, он сможет выйти в совершенно другой галактике.

По словам Малдасены и Сасскинда, связи, которые учёные называют «кротовыми норами», представляют собой эквиваленты запутанности. Иными словами, если две частицы находятся в состоянии запутанности, между ними формируется микроскопическая «кротовая нора». Итак, «кротовые норы» в пространстве-времени и квантовая запутанность могут быть всего лишь различными способами описания одной и той же реальности.

Если запутанность возникает из-за существования микроскопических «кротовых нор» в пространстве-времени и такие норы важны для самого его существования, значит, уменьшение запутанности нарушит саму ткань пространства-времени, что и доказал Ван Раамсдонк. Итак, ответом на вопрос «Из чего сделано пространство?» могут быть «кротовые норы» или квантовая запутанность. Выбирайте, что вам нравится больше. В конце концов, если верить Малдасене и Сасскинду, это одно и то же.

Поразительная дуальность

Когда Малдасена продемонстрировал, что теория квантового поля на горизонте пятимерной Вселенной проявляется внутри неё как общая теория относительности, выяснилось, что одну и ту же физическую ситуацию можно описать по-разному. Существование таких дуальностей иногда помогает решить, казалось бы, безнадежную задачу, просто подойдя к ней с другой стороны.

Типичной дуальностью теории струн является тот факт, что физика в сверхмалых и сверхбольших масштабах проявляет себя совершенно одинаково. Эта Т-дуальность объясняется тем, что струны могут двигаться или обматываться вокруг дополнительного пространственного измерения, обмениваясь при этом импульсом. Благодаря этому в микро- и макромире физические законы проявляют себя одинаково.

Ключевым следствием из этой дуальности является то, что в сверхмалых масштабах физические параметры, например сила притяжения, не увеличиваются до бесконечности, как предсказывал Эйнштейн в своей

теории гравитации. Вместо этого они держатся в тех же рамках, что и в макром мире. Интуитивно это кажется логичным, ведь длина струн конечна, а так как их нельзя сжать до нулевого объёма, это позволяет избежать и предположения о сингулярности как начале Вселенной.

Разумеется, дуальности встречаются не только в теории струн. Их можно найти и в других областях физики, таких, например, как квантовая теория, известная своим корпускулярно-волновым дуализмом. На самом деле разделение корпускулярного и волнового подхода к мельчайшим строительным блокам Вселенной было актуальной темой для обсуждения только на начальных этапах существования квантовой теории (и ещё остаётся для научно-популярной литературы, например для этой книги). После создания последовательной квантовой теории в середине 1920-х годов о корпускулярно-волновом дуализме забыли. Квантовые механизмы Шрёдингера и Гейзенберга оперируют математическими объектами вроде волновых функций, которые не являются ни частицами, ни волнами и для которых в наших словарях нет слов, а в реальной жизни — аналогий.

Корпускулярно-волновой дуализм показывал, что учёные ещё не приблизились к адекватной квантовой теории. Точно так же и дуальности в теории струн демонстрируют её неполноту. «Мы ещё не дошли до конца, — говорит Берман. — В истинной теории дуальностей не будет». Но как же нам её найти?

В поисках Нигде

Аркани-Хамед полагает, что существует несколько стратегий поиска более глубокой, фундаментальной и истинной теории. Самая очевидная состоит в том, чтобы составить список всех предположений, которые имеются у учёных на данный момент, и постепенно вычёркивать их одно за другим, пока лучшее из них не трансформируется в то, что нужно. «Однако история показывает, что обычно такая тактика не работает», — отмечает Аркани-Хамед.

По какой-то причине теории в физике похожи на матрёшки. Внутри каждой красивой куклы находится ещё одна, такая же красивая, а внутри каждой изящной и непротиворечивой теории — более глубокая, но не менее изящная. Так что сделать из одной теории другую, более развитую, вряд ли получится. Природа не позволит этого. «Законы физики на любом из уровней совершенны. Но спуститесь на уровень ниже, и они окажутся ещё более совершенными», — замечает Аркани-Хамед. Единственный

способ перейти от одного к другому — это сделать шаг в темноту. Как говорил Ньютон, за всеми великими открытиями стояли дерзкие догадки.

Ярким примером «матрёшечного» характера природы являются классическая физика и квантовая теория. В конце XIX века классическая физика считалась безупречной. Единственным её слабым местом была ультрафиолетовая катастрофа, которая казалась важной Планку и Эйнштейну. Но более глубокая теория, исправившая этот недочёт, не выросла из классической физики. Создание квантовой теории включало в себя появление из ниоткуда новых принципов и уравнений (например, уравнения Шрёдингера), которые были совершенно несовместимы с классической физикой и никак не могли вытекать из неё.

По словам Аркани-Хамеда, законы физики не переходят друг в друга плавно, а резко обрываются, сбрасывая науку на уровень глубже. Поэтому у учёных остаётся только один выход: держаться за известное как можно дольше, а затем прыгать.

В данном случае известное — это специальная теория относительности и квантовая теория, а единственная известная нам система, которая их объединяет, называется теорией струн. Аркани-Хамед считает, что эту физику нужно подтолкнуть к краю, чтобы она спрыгнула во тьму в надежде приземлиться на неизведанной территории. «Физика развивается рывками, — говорит Аркани-Хамед. — Главное — находиться поблизости от правильного ответа и прыгать с подходящего места».

Новая теория вытеснит теорию гравитации Эйнштейна, которая и так не действует в сингулярности, то есть в сердце чёрных дыр и в начале времени. «И кроме того, может потребоваться расширить квантовую теорию», — отмечает Аркани-Хамед.

«Большинство теорий содержат информацию о собственной гибели: электромагнетизм говорит об ультрафиолетовой катастрофе, общая теория относительности — о сингулярностях. Но у квантовой теории, кажется, нет ахиллесовой пяты, — говорит Берман. — Она представляет собой нечто очень глубокое».

Несмотря на то что на сегодняшний день квантовая теория соответствует целевому назначению, то есть точно предсказывает результаты всех экспериментов, она предполагает существование неких вселенских часов, отмеряющих время. «Однако если вблизи сингулярностей время начинает идти по-другому, непонятно, как мы можем применять квантовую теорию. В области космологии, то есть происхождения, эволюции и будущего конца Вселенной, квантовая теория может иметь проблемы», — говорит Аркани-Хамед.

«Новая теория будет представлять собой не общую теорию относительности и не квантовую теорию, а нечто третье», — утверждает Ли Смолин из института «Периметр» в Уотерлу, Канада.

Учёным сложно сделать следующий шаг, потому что для этого нужно свести воедино все фрагментарные теории и результаты экспериментов с разными моделями реальности. Вот только никто не знает, какие из них верны. Возможно, вообще никакие. «Теория струн — это часть более глубокой теории, — говорит Аркани-Хамед, — но, кто знает, может быть, даже не самая важная».

Вверх — это новое вниз

Когда Аркани-Хамед предложил для получения новой теории подтолкнуть физическую науку к обрыву, а затем сделать с него шаг в неизвестность, он предполагал, что мы имеем все необходимые эмпирические данные для получения ответов на свои вопросы. На данный момент нам известно о существовании 12 строительных блоков материи (шести кварков и шести лептонов) и о четырёх фундаментальных взаимодействиях. Но хорошо изученная нами атомная материя, из которой состоят звёзды, галактики и мы сами, составляет примерно 1/6 массы загадочной тёмной материи. «Тёмная материя может оказаться критически важной. Она может изменить всё наше понимание о Вселенной и опровергнуть теорию струн», — говорит Аркани-Хамед.

Нельзя исключать, что в мире существуют тёмные частицы и тёмные силы, которые могут полностью перевернуть наши представления о физике. Как говорил шекспировский Гамлет, «есть многое в природе, друг Горацио, что и не снилось нашим мудрецам».

Поразительно, что обычная материя, состоящая из частиц, предусмотренных Стандартной моделью, составляет всего 4,9% всей массы-энергии Вселенной, да и из неё мы сумели увидеть в свои телескопы лишь половину. Предполагается, что вторая половина приходится на водородные облака, плавающие между галактиками. Такие облака должны быть слишком холодны или слишком горячи, чтобы испускать регистрируемое свечение.^[277] Для сравнения: на долю тёмной материи приходится около 26,8% массы-энергии Вселенной, а на тёмную энергию — 68,3%.

Как уже говорилось выше, тёмная энергия (несмотря на то что она является основной составляющей Вселенной) была открыта лишь в 1998

году. Она невидима, заполняет собой весь космос и имеет отталкивающую гравитацию. Именно она и ускоряет расширение Вселенной, которое привело к её открытию. [\[278\]](#)

Если в школах детей ещё учат называть гравитацию силой притяжения, значит, эти школы отстали от жизни. Более двух третей всего сущего во Вселенной имеет гравитацию, которая не притягивает, а отталкивает. «Мы знаем, что гравитация существует, потому что яблоки падают с деревьев вниз. Мы можем наблюдать её действие в окружающем мире, — замечает исследователь тёмной материи Адам Рисс из Университета Джона Хопкинса в Балтиморе. — Но если бы мы швырнули яблоко к краю Вселенной, мы бы увидели, что оно ускоряется».

Скорее всего, тёмная энергия не сможет вставить физике такие же большие палки в колёса, как тёмная материя, потому что и общая теория относительности, и квантовая теория предсказывают существование вакуумной энергии (пускай никто и не понимает, как эти предсказания сочетаются друг с другом). [\[279\]](#)

Итак, нам не хватает множества эмпирических сведений о Вселенной. Может быть, есть необходимость и в новой масштабной идее? «Наша система поразительно верна во многих аспектах, — отмечает Аркани-Хамед. — Но очевидно также, что мы ошибаемся в чём-то важном. Следующий шаг потребует от нас революционных мыслей». Как однажды сказал Джон Уилер, «за всем этим наверняка стоит настолько простая и прекрасная идея, что, когда мы поймём её, пускай через десять, сто или тысячу лет, мы спросим у себя: разве могло быть иначе?».

Берман напоминает, что, хотя необычное движение Урана и объяснялось существованием предсказанного Леверье Нептуна, с Меркурием эта схема не сработала. Потребовалась новая идея: фундаментальное изменение самой концепции гравитации. «Тёмная материя действительно может быть причиной аномалий в движении звёзд и галактик, — говорит Берман, — но, может быть, нам снова придётся поменять концепцию». [\[280\]](#)

Нужна ли нам новая идея?

Прямо сейчас где-то на Земле новому Эйнштейну может прийти в голову мысль, которая позволит свести все наши знания воедино и совершить революцию в физике. Но, как показывает история, одинокого гения для этого может быть недостаточно.

Теория относительности Эйнштейна действительно была результатом работы одного блестящего учёного (хотя и сам Эйнштейн иногда говорил: «Какой из меня Эйнштейн?»). Но, как замечает Аркани-Хамед, для революции в физике одного человека недостаточно. Чтобы создать квантовую теорию, два десятка учёных трудились почти 25 лет. Стандартная модель физики частиц потребовала примерно такого же состава участников и времени. Соответственно, очень вероятно, что более глубокая теория, чем общая теория относительности, будет похожа на своих предшественниц и будущие историки науки не прибавят к ряду «Ньютон, Эйнштейн и...» третье имя.

Аркани-Хамед ожидает, что в нашем видении мира произойдёт ещё более существенная перемена, чем квантовая революция 1920-х годов. При этом он проводит параллель с появлением, развитием и признанием квантовой теории. Первым шагом в новом направлении стало открытие Планком кванта в 1900 году. Затем в 1913 году датский физик Нильс Бор использовал это открытие, чтобы по-новому объяснить строение атома. Наконец, в 1927 году была создана самостоятельная квантовая теория, построенная на твёрдых научных основаниях. «Я думаю, что сейчас мы где-то на середине пути, — говорит Аркани-Хамед. — По меркам квантовой теории на дворе примерно 1917 или 1918 год».

Неизведанная страна

«Самое потрясающее время для того, чтобы быть физиком, наступило после 1920-х, — считает Аркани-Хамед. — Начиная с древних греков, каждое поколение людей спрашивало себя, откуда появилась Вселенная и что представляют собой пространство и время. Но людям прошлого требовалось ответить на множество других вопросов, прежде чем они могли перейти к этим. Мы же сумели на них ответить. Теперь перед нами стоят новые важнейшие вопросы».

По словам Аркани-Хамеда, это исключительный момент в истории фундаментальной физики. Впервые мы имеем систему, позволяющую нам задаваться фундаментальными вопросами, и поразительные экспериментальные средства (например, БАК) для ответа на них. «Мы поднялись к базовому лагерю на склоне Эвереста и видим перед собой вершину», — говорит Аркани-Хамед.

Сколько времени пройдёт, прежде чем мы достигнем цели? По мнению Аркани-Хамеда, «возможно, нам хватит результатов всего лишь

пяти экспериментов. С другой стороны, возможно, их получение займёт у нас 500 лет. Но я так не думаю, я настроен оптимистично».

Более глубокая теория расскажет нам о рождении Вселенной, о том, как возникли пространство, время и всё остальное, и, самое важное, о том, почему они существуют. Кроме того, говоря словами Эйнштейна, она ответит на вопрос, имелся ли у Бога выбор, когда он создавал мир.

Подобная теория не только даст нам глубочайшие знания о нашей реальности, но и наделит нас техническим владычеством над ней. Объединение электрической и магнитной силы Максвеллом в 1863 году в конце концов привело к созданию специальной теории относительности и квантовой теории. Последняя, можно сказать, стала основой современного мира, дав нам лазеры и компьютеры, смартфоны и ядерные реакторы. Технологии, использующие квантовую теорию, составляют около 30% ВВП США.

Теория Максвелла также предсказала существование радиоволн, а потому сделала нашу планету миром коммуникаций, где данные, движущиеся картинки и бесшумная болтовня миллиардов людей постоянно передаются по воздуху. Ни Максвелл, ни его современники не могли предсказать подобного. Если бы жители XIX века увидели телевизор, Интернет или мобильный телефон, они, скорее всего, посчитали бы их не технологическими артефактами, а творениями дьявола.

Кто знает, что может дать нам углублённая теория Эйнштейна. «Я бросаю вызов гравитации!» — заявляла Мэрилин Монро. Кто знает, может, и мы сделаем то же самое. Возможно, мы получим власть над пространством и временем, способность создавать «кротовые норы», строить космические корабли или машины времени. «Мы будем создавать целые Вселенные в своих лабораториях», — мечтает Аркани-Хамед.

Как замечал Майкл Фарадей, не бывает ничего слишком чудесного, чтобы быть правдой.

«Ваша способность путешествовать во времени зависит от законов квантовой гравитации, — говорит Кип Торн, — и мы всего в нескольких десятилетиях от их полного понимания. Нам нужно 20–30 лет, а может, и меньше». [\[281\]](#)

«Наука теперь столь быстро двигает прогресс вперёд, что я иногда сожалею, что родился слишком рано, — писал Бенджамин Франклин. — Невозможно представить, до каких высот поднимется власть человека над материей через тысячу лет. Возможно, мы научимся лишать массивные тела гравитации и станем для удобства перемещать их по воздуху». [\[282\]](#)

Как показывает пример теории Максвелла, последствия новой теории могут стать столь же потрясающими, сколь и непредсказуемыми. Лучше всего об этом сказал писатель-фантаст Артур Кларк: «Любая достаточно развитая технология неотличима от магии». [\[283\]](#)

Магический мир ждёт нас за горизонтом. Приготовьтесь к встрече с ним. Кто знает, что мы можем найти в этой неизведанной стране.

notes

Примечания

Портсмутское собрание записей Ньютона, 1714 г.

Knox E. The Vintner's Luck. — London: Vintage, 2000.

Stukeley W. Memoirs of Sir Isaac Newton's Life. — 1752. — P. 46–49.

Ajami F. The Arab World's Unknown Son // Wall Street Journal. — 12 October 2011.

Дефо Д. Дневник чумного года. — 1722.

1,1 литра. (Примеч. ред.)

«Он умер 20 марта 1727 года, прожив 84 года в полном телесном здравии, полный жизненных сил. Дабы подчеркнуть это, следует сказать, что за всю жизнь он потерял лишь один коренной зуб». *Augustus de Morgan*. *Essays on the Life and Work of Newton*. — 1914.

Stukeley. Memoirs of Sir Isaac Newton's Life. — P. 46–49.

Westfall R. Never at Rest: A Biography of Isaac Newton. — 1983. — P. 53.

Дефо Д. Дневник чумного года. — 1722.

Wordsworth W. The Prelude. — 1888.

Планеты на ночном небе движутся вдоль узкого пути, называемого зодиаком, на котором располагаются 12 крупных групп звёзд (созвездий), соответствующих 12 знакам зодиака. Причина этого состоит в том, что орбиты планет находятся примерно в одной и той же плоскости, называемой эклиптической. Это, в свою очередь, объясняется тем, что планеты сформировались из плоского диска космического мусора, вращавшегося вокруг недавно образовавшегося Солнца.

Звёзды кажутся неподвижными относительно друг друга из-за того, что находятся на огромных расстояниях от нас: дистанция до самой близкой к нам звезды примерно в *миллиард* раз больше длины земной орбиты. Но на самом деле звёзды перемещаются в пространстве, и по прошествии времени (тысяч лет) это движение может изменить внешний вид созвездий до неузнаваемости.

В Солнечную систему входит Солнце, его планеты, их луны, а также астероиды и кометы — мусор, оставшийся после формирования системы 4,55 миллиарда лет назад.

Ball W. W. R. History of Mathematics. — 1901.

Эту черту характера Ньютона отмечал его биограф Джон Мейнард Кейнс, живший в XX веке: «Его особым даром было умение фокусировать своё сознание на чисто теоретической задаче до тех пор, пока решение не станет для него абсолютно ясно». *Keynes J. M. Essays in Biography.* — 1933. — *Newton, The Man.*

Площадь малого треугольника, покрываемая планетой за заданный промежуток времени, равна $1/2vrt$. Тот факт, что $1/2vrt$ не изменяется, подсказывает нам, что mvr , угловой момент планеты, тоже остаётся неизменным. Подобное может происходить только в отсутствие крутящего момента, то есть силы, направленной вдоль траектории планеты. Иными словами, сила всегда должна быть направлена в сторону Солнца.

До сегодняшнего дня учёные не могут понять, почему Вселенная подлежит математическому описанию. Юджин Вигнер, австрийский физик XX века, писал о «необъяснимой эффективности математики в физических науках». Почему математический мир представляет собой идеальную аналогию реального? Ответа на этот вопрос не знает никто.

Законы физики для котов (<http://www.funny2.com/catlaws.htm>).

Движение планет вокруг Солнца было запущено в момент рождения Солнечной системы и *продолжается до сих пор*. Согласно современным представлениям, Солнце и планеты сформировались из облака межзвёздной пыли и газа, которое начало сжиматься под воздействием собственной гравитации. Это облако медленно двигалось вокруг своей оси, потому что наша Галактика вращается, делая полный оборот раз в 220 миллионов лет. По мере сжатия облака это вращение ускорялось, как ускоряется вращение балерины, когда она прижимает руки к телу. Планеты, сформировавшиеся из скоплений мусора внутри облака, унаследовали это вращательное движение, а потому продолжили двигаться вокруг новорождённого Солнца.

На самом деле путём простых рассуждений можно вычислить *точную* формулу центростремительной силы. Если тело медленно движется по кругу, то, чтобы предотвратить его отклонение от траектории, требуется лишь небольшая коррекция скорости по направлению к центру. Если же тело движется быстро, то и коррекция должна быть больше. Соответственно, коррекция скорости растёт вместе с самой скоростью тела (она пропорциональна v). Ускорение тела — это быстрота, с которой изменяется его скорость, то есть изменение скорости за единицу времени. Время, которое требуется телу, чтобы пройти определённое расстояние, меньше при небольшом диаметре круга и больше при медленном движении (то есть оно пропорционально r/v). Соответственно, ускорение пропорционально v , делённому на r/v , то есть v^2/r . А сила, которая представляет собой массу, умноженную на ускорение, равняется mv^2/r .

$mv^2/r = F(r)$. $T^2 \sim r^3 \Rightarrow v^2 \sim 1/r$. Соответственно, $F(r) \sim 1/r^2$. Здесь под m подразумевается масса планеты, под v — её скорость, F — это сила гравитации, с которой на неё воздействует Солнце, а r — расстояние между Солнцем и планетой.

С лунами Юпитера связана одна существенная аномалия, обнаруженная Олеафом Кристенсеном Рёмером в 1676 году. Датский астроном наблюдал за лунами, кружащимися вокруг Юпитера, и измерял время, требуемое каждой из них для прохождения своей орбиты. Так как они периодически заходили за диск Юпитера, момент появления из-за него считался хорошей точкой для начала отсчёта. Рёмер с удивлением обнаружил, что иногда луны *отставали* от своего графика, а иногда *опережали* его. Первое случалось в те моменты, когда Юпитер находился ближе всего к Земле, а второе — когда дальше всего от неё. Как же это объяснялось? Рёмер понял, что свету, испускаемому лунами Юпитера, требуется время, чтобы преодолеть расстояние до нашей планеты, и чем ближе Земля и Юпитер, тем это время короче. Вот почему луны появляются из-за планетного диска то раньше, то позже. Это явление продемонстрировало, что свет не перемещается мгновенно. Кроме того, зная точное расстояние, которое свету необходимо пройти, когда Юпитер находится на максимальном удалении от Земли (равное диаметру земной орбиты), и время задержки (22 минуты), Рёмер сумел провести первый в истории расчёт скорости света и принял её за 220 000 километров в секунду. Неплохо, учитывая, что современное значение составляет 299 792 километра в секунду. Причина ошибки Рёмера состояла в том, что он неверно рассчитал диаметр орбиты нашей планеты, а временная задержка составляла не 22 минуты, а 16 минут 40 секунд.

Адамс Д. Жизнь, Вселенная и всё остальное. — 1982.

Первым человеком, точно рассчитавшим размер Луны и расстояние до неё, был греческий астроном, географ и математик Гиппарх, живший между 190 и 120 годами до нашей эры. Во время лунного затмения он оценил размер тени, которую Земля отбрасывает на Луну, и обнаружил, что её диаметр в 2,5 раза превышает лунный. Он также верно понял, что, раз тень отбрасывается на *искривлённую* поверхность Луны, она кажется уменьшенной (на один лунный диаметр), а потому диаметр Земли превышает диаметр Луны в 3,5 раза. Соответственно, если бы можно было поместить Землю рядом с Луной на том же расстоянии от наблюдателя, она оказалась бы в 3,5 раза больше. Вместо того чтобы образовывать угол 0,5 градуса, она образовывала бы угол 1,75 градуса (если вытянуть руку и поднять большой палец, он закроет Луну — вот что значит «образовывать угол»). Для того чтобы тело диаметром с Землю могло образовать в небе угол 1,75 градуса, оно должно находиться от наблюдателя на расстоянии, равном примерно 30 диаметрам Земли. Соответственно, расстояние между Землёй и Луной составляет 384 400 километров. Очевидно, что Гиппарх не сумел рассчитать это значение настолько точно, но он был близок к нему.

Впервые диаметр Земли был рассчитан в 240 году до нашей эры Эратосфеном, главой Александрийской библиотеки. За исключением некоторых выпуклостей (гор), Земля кажется плоской. Но Эратосфен понял, что мы не видим искривления земной поверхности из-за размеров нашей планеты. Свидетельством того, что Земля круглая, являются корабли, которые исчезают за горизонтом, оставаясь при этом достаточно большого размера, а не превращаясь в одну точку. Кроме того, во время лунных затмений, когда Земля проходит между Солнцем и Луной, тень, которую она отбрасывает на Луну, оказывается закруглённой, а единственное тело, отбрасывающее подобные тени во всех направлениях, — это шар. Эратосфен заметил, что во время летнего солнцестояния, когда Солнце находится в зените, стоящая вертикально колонна в Сиене (современный Асуан) вообще не имеет тени, то есть Солнце находится прямо над ней. В тот же день колонна в Александрии имеет короткую тень, указывающую на то, что Солнце отклонено от вертикали на семь градусов. Зная расстояние между Сиеной и Александрией, а также тот факт, что семь градусов составляют примерно $1/50$ полного круга, Эратосфен рассчитал диаметр Земли. У него получилась цифра 12 500 километров, что всего на 200 километров отличается от современного значения.

It's Only A Theory. — BBC Four. — 2009.

Grayling A. C. The Good Book. — London: Bloomsbury, 2013.

New York Post. — 24 June 1965.

Фрагменты из «Treatise on Revelation». *Manuel F. E.* The Religion of Isaac Newton. — Oxford: Oxford University Press, 1974.

Я рассуждаю о простоте Вселенной в шестой главе своей книги «The Never-Ending Days of Being Dead» (Faber & Faber, 2007). Во второй главе той же книги я пишу о том, что эта простота может быть иллюзией из-за того, что физики фокусируются лишь на самых простых элементах окружающего мира. А в восьмой главе своей книги «The Universe Next Door» (Headline, 2002) я размышляю о том, почему Вселенная познаваема с помощью математики.

Ньютон И. Оптика или трактат об отражениях, преломлениях, изгибаниях и цветах света. — 1704. — Книга третья. — Вопрос 31.

The Potentialities and Limitations of Computers. Лекции Ричарда Фейнмана и Джери Сьюссмана. California Institute of Technology, Pasadena, 1984.

На самом деле немецкий математик Готфрид Лейбниц открыл математический анализ независимо от Ньютона и раньше его публикаций на эту тему, хотя Ньютон заявлял, что использовал его ещё раньше, в 1666 году, и описывал его в письмах к Лейбницу. Впоследствии, будучи президентом Королевского научного общества, Ньютон делал всё возможное, чтобы посрамить своего конкурента и считаться единоличным первооткрывателем математического анализа.

Ackroyd P. Newton. — London: Vintage, 2007. — P. 10.

Gamow G. The Great Physicists from Galileo to Einstein. — New York: Dover, 1988.

С возрастом зрение ухудшается по разным причинам, и, скорее всего, с Ньютоном это тоже происходило. Очень часто такое ухудшение приобретает форму катаракты — помутнения хрусталика, природной линзы, лежащей между радужной оболочкой и зрачком. Один из типов этой болезни, называемый ядерной катарактой, формируется глубоко в центральной зоне (ядре) хрусталика. В начале своего развития ядерная катаракта может привести к временному улучшению ближнего зрения (так называемому второму зрению), однако оно быстро проходит по мере прогрессирования болезни. Таким образом, отличное зрение, которым Ньютон мог похвастаться в 84 года, вполне можно объяснить катарактой.

Keynes J. M. Essays in Biography. — 1933. — Newton, The Man.

Цит. по: *Moulton F. R.* Introduction to Astronomy. — New York: Macmillan, 1906. — P. 199.

Сказано в 1930 году в тосте в честь Альберта Эйнштейна, присутствовавшего на обеде. Цит. по: *Patch B. Thirty Years with G.B.S.* — London: Gollancz, 1951.

Muir H. Einstein and Newton showed signs of autism // *New Scientist*. —
30 April 2003 (<https://www.newscientist.com/article/dn3676-einstein-and-newton-showed-signs-of-autism/>).

Даже «отражающий» телескоп Ньютона был результатом его монументального труда, посвящённого свету и оптике, который Ньютон также держал в секрете. Этот секрет пришлось буквально вытягивать из него клещами (как и все остальные его тайны), и «Оптика» была опубликована лишь в 1710 году.

DeMoivre A. Цит. по: *Westfall R.* Never at Rest: A Biography of Isaac Newton. — Cambridge: Cambridge University Press, 1983.

Более чем три века спустя ещё один гений, американский физик Ричард Фейнман, так стремился проникнуть в сознание Ньютона, что повторно открыл геометрическое доказательство движения тел, подчиняющихся закону обратных квадратов, по эллиптическим орбитам. После смерти Фейнмана в 1988 году его друзья Дэвид и Джудит Гудстейн опубликовали это доказательство в книге Feynman's Lost Lecture: The Motion of the Planets Around the Sun. — London: Jonathan Cape, 1996.

Там же.

Ньютон И. Математические начала натуральной философии. — 1687.
— Определения.

Salam A., Lai C. H., Kidwai A. Ideals and Realities: Selected Essays of Abdus Salam. — Singapore: World Scientific, 1987.

Brewster Sir D. Memoirs of the Life, Writings, and Discoveries of Sir Isaac Newton. — 1855.

Ackroyd P. Newton. — London: Vintage, 2007. — P. 29.

Gleick J. Isaac Newton. — London: HarperCollins, 2004. — P. 8.

Шекспир У. Юлий Цезарь. — Акт IV, сцена 3.

Хотя данное высказывание часто приписывают Джеффри Чосеру, эту форму оно приняло в XVIII веке. Натан Бейли приводит его как пословицу в своём *Dictionarium Britannicum: Or, A More Compleat Universal Etymological English Dictionary Than any Extant* (второе издание, 1736).

Английское слово *bore* происходит от старонорвежского *bara* — «волна» или «выпуклость».

Высота бора может достигать 7,5 метра, а скорость — 27 километров в час.

Westley K., Dix J. Coastal environments and their role in prehistoric migrations // *Journal of Marine Archaeology*. — Vol. 1. — 1 July 2006. — P. 9.

Цезарь Г. Ю. Записки о Галльской войне. — Книга IV. — Глава 29.

Ekman M. A concise history of the theories of tides, precession-nutation and polar motion (from antiquity to 1950) // *Surveys in Geophysics*. — 1993. — Vol. 14. — Issue 6. — P. 585–617 (<http://www.afhalifax.ca/magazine/wp-content/sciences/vignettes/supernova/nature/MAREES/HistoireMarees.pdf>).

Приливная сила, воздействию которой подвергаются морские воды, наиболее удалённые от Луны, меньше той, которая воздействует на наиболее близкие к Луне, примерно на $(60 / 62) \times 2 = 0,94$, поскольку такие воды находятся на расстоянии не 60, а 62 земных радиуса от Луны. Соответственно, и приливный горб оказывается немного меньше.

Выяснив, что приливы, вызываемые Луной, примерно в два раза выше, чем вызываемые Солнцем, Ньютон заключил, что средняя плотность Луны примерно в два раза превышает солнечную. Он размышлял так: приливная сила, исходящая от тела, зависит от его массы. Кроме того, приливные силы связаны с разницей в гравитации, а потому изменяются в соответствии не с законом обратных квадратов, а с законом обратных кубов. Соответственно, приливная сила, исходящая от массы m на расстоянии r , равна $\sim m / r^3$. Но $m \sim \rho d^3$, где ρ — это средняя плотность, а d — диаметр. Он, в свою очередь, определяется как $r\theta$, где θ — это угол, стягиваемый телом в небе. Если собрать всё это воедино, получается, что приливная сила $\sim \rho \theta^3$. Но по какому-то космическому совпадению угловой размер Солнца и Луны практически одинаков (вот почему Луна может полностью закрыть Солнце во время полного затмения). Соответственно, приливная сила, исходящая от Луны и Солнца, *пропорциональна их плотности*. Это неожиданный результат. Поскольку Луна вызывает в два раза более сильные приливы, чем Солнце, её плотность также должна быть в два раза больше.

Плоскость лунной орбиты наклонена к экватору Земли, а наклон к экваториальной плоскости составляет от 18,28 до 28,58 градуса.

Если быть точным, самые высокие боры возникают в течение от одного до трёх дней после новолуния и полнолуния.

Pekeris C. L. Note on Tides in Wells // Travaux de l'Association Internationale de Géodésie. — Paris, 1940. — Vol. 16.

В 1905 году Альберт Эйнштейн открыл, что масса представляет собой всего лишь компактную форму энергии (его формула $E = mc^2$ описывает эту взаимосвязь, а c в ней обозначает скорость света). Согласно закону сохранения энергии её невозможно создать или уничтожить, можно лишь перевести из одной формы в другую. Это означает, что кинетическая энергия (энергия движения) сталкивающихся субатомных частиц может быть конвертирована в массу-энергию новых частиц. Именно на этом принципе построена работа ускорителей частиц, таких как БАК в ЦЕРНе.

Технически энергия протонов составляет семь тераэлектронвольт (ТэВ), соответственно общая энергия столкновения равна 14 ТэВ. Двигаясь со скоростью, составляющей 99,9999991% скорости света, они облетают кольцо БАК 11 000 раз за секунду. Их фактор Лоренца (γ) равен 7500, и это означает, что они в 7500 раз более массивны, чем протоны в состоянии покоя. Подобное объясняется специальной теорией относительности Эйнштейна, которая гласит, что масса тел увеличивается, а инерция уменьшается при приближении к световой скорости, и поэтому они не могут её достичь (см. главу 5). Хотя разница между скоростью протонов в БАК и скоростью света составляет всего три метра в секунду (это средняя скорость бегуна), для того чтобы её увеличить, потребуется бесконечное количество энергии.

Каждая субатомная частица имеет партнёра из антиматерии, обладающего противоположными свойствами, такими как электрический заряд и квантовый спин. Античастицей отрицательно заряженного электрона является положительно заряженный позитрон.

Arnaudon L. et al. Effects of terrestrial tides on the LEP beam energy. —
CERN SL/94-07 (BI). — 1994
(https://jwenning.web.cern.ch/jwenning/documents/EnergyCal/tide_slrep.pdf).

Для того чтобы тело массой m продолжало двигаться по кругу радиусом r на скорости v , требуется центростремительная сила $F = mv^2/r$ (см. главу 1). Если увеличить радиус, то сила F , испускаемая магнитами БЭПК и являющаяся постоянной, окажется слишком большой, чтобы поддерживать круговое движение частиц, если только v^2 , связанная с энергией частиц, тоже не увеличится. С другой стороны, при уменьшении радиуса сила F окажется слишком малой для поддержания движения частиц, если их энергия не снизится.

Воздействие приливной силы, генерируемой ускорителем ЦЕРН, — не единственное, которое наблюдали физики в этой лаборатории. Каждый день в определённое время им приходилось корректировать энергию потоков частиц, и лишь через много месяцев они смогли определить почему. Удивительно, но виновником оказался скоростной поезд Женева — Париж. Проезжая неподалёку от БЭПК, он генерировал большой объём электрической энергии, которая и сбивала потоки частиц.

Согласно той же логике значение приливных сил, воздействию которых подвергается Средиземное море, составляет меньше половины от значения приливных сил в Атлантическом океане, так как глубина Средиземного моря в среднем в два раза меньше, чем в Атлантике.

Crotts A. Transient Lunar Phenomena: Regularity and Reality. — 2007. — [arXiv:0706.3947v1](#). Crotts A. Lunar Outgassing, Transient Phenomena and the Return to the Moon, I: Existing Data. — 2007. — [arXiv:0706.3949v1](#). Crotts A. Hummels C. Lunar Outgassing, Transient Phenomena and the Return to the Moon, II: Predictions of Interaction between Outgassing and Regolith. — 2007. — [arXiv:0706.3952v1](#). Crotts A. Lunar Outgassing, Transient Phenomena and the Return to the Moon, III: Observational and Experimental Techniques. — 2007. — [arXiv:0706.3954v1](#). Chown M. Does the Moon have a volcanic surprise in store? // *New Scientist*. — 26 March 2008.

Возникновение морей связывают с последней метеоритной бомбардировкой. Считается, что она произошла, когда Юпитер и Сатурн, двигаясь по направлению к тем точкам Солнечной системы, в которых они находятся сейчас, на некоторое время вошли в резонанс в соотношении 2:1, то есть за то время, пока Юпитер совершал два оборота вокруг Солнца, Сатурн делал всего один. Периодически две планеты оказывались рядом друг с другом, взаимно усиливая свой гравитационный эффект. Представьте себе ребёнка на качелях, которые иногда подталкивают, чтобы он взлетал всё выше. Точно так же воздействие двух планет сталкивало небольшие тела, такие как астероиды, с их орбит и толкало во внутреннюю часть Солнечной системы, где они бомбардировали, в частности, Луну и Землю.

Chen L. et al. Correlations between solid tides and worldwide earthquakes $MS \geq 7.0$ since 1900 // *Natural Hazards & Earth System Science*. — 2012. — Vol. 12. — P. 587.

На самом деле из-за колебаний в движении Луны (либраций), а также из-за того, что из разных точек планеты можно увидеть Луну с разных сторон (этот эффект носит название «параллакс»), мы можем разглядеть около 59% лунной поверхности.

Приливный горб и Луна образуют угол, равный почти трём градусам, соответственно разница между ожидаемым и фактическим началом прилива составляет $3 / 360 \text{ часов} \times 24 \text{ часа} = 12 \text{ минут}$.

Hadhazy A. Fact or Fiction: The Days (and Nights) Are Getting Longer // Scientific American. — 14 June 2010.

Chown M. In the shadow of the Moon // *New Scientist*. — 30 January 1999.

Угловой момент точечной массы m рассчитывается как её линейный момент mv , умноженный на расстояние от центра вращения r . Поскольку орбитальная скорость тела, находящегося на расстоянии r от Земли, пропорциональна $1/r^{1/2}$, то и угловой момент пропорционален $r \times 1/r^{1/2} = r^{1/2}$. Соответственно, угловой момент Луны действительно увеличивается по мере того, как она удаляется от Земли.

Рефлектор «Лунохода-2» иногда работает, но тот, что был установлен на «Луноходе-1», вышел из строя почти на 40 лет. Однако недавно зонд «Lunar Reconnaissance Observer» провёл съёмку места его высадки. Координаты были переданы учёным в Нью-Мексико, и те направили на указанный участок лунной поверхности лазерный луч. 22 апреля 2010 года они зарегистрировали отражённый поток из 2000 частиц света — фотонов. Теперь, когда используется четыре или даже пять угловых отражателей, учёные смогут наблюдать не только за рецессией Луны, но и за изменениями её формы под воздействием приливной силы Земли.

Dickey J. O. et al. Lunar Laser Ranging: A Continuing Legacy of the Apollo Program // Science. — 1994. — Vol. 265. — P. 482.

В системе, состоящей из двух крупных тел, связанных силой гравитации, точками Лагранжа являются те точки, в которых совокупное гравитационное воздействие обоих тел равно центростремительной силе (см. главу 1), необходимой для вращения по орбите вместе с ними. Таких точек пять, и они имеют обозначения от L_1 до L_5 .

Green J., Huber M. Tidal dissipation in the early Eocene and implications for ocean mixing // *Geophysical Research Letters*. — 2013. — Vol. 40.

На самом деле Солнце использует самую неэффективную из возможных ядерных реакций. Оно превращает ядра самого лёгкого элемента, водорода, в ядра следующего за ним гелия. Водород состоит из одного ядерного «кубика» и гелия-4, так что сжигание водорода — это многоэтапный процесс. Первый этап представляет собой слияние двух ядер водорода — протонов. Но для того, чтобы два протона внутри Солнца встретились и соединились друг с другом, в среднем требуется около десяти миллионов лет. Вот почему именно такой срок необходим Солнцу, чтобы полностью сжечь своё водородное топливо. Половина данного пути уже пройдена, но этого времени оказалось достаточно для эволюции сложных жизненных форм вроде нас с вами. Солнце производит тепло настолько неэффективно, что, если взять кусок солнечного ядра размером с ваш живот, ваш живот будет излучать больше тепла. Возникает вопрос: почему же Солнце такое горячее? Всё дело в том, что оно состоит из бесконечных миллиардов таких кусков, слепленных воедино.

Newton I. The Principia / edited by Florian. — 1687.

Я долго искал, но так и не сумел обнаружить источник этой фразы, которую обычно приписывают Полю Дираку.

Одним из последних примеров этой силы предвидения, которой обладает наука, является открытие в июле 2012 года бозона Хиггса. Путешествуя по Кернгормским горам в Шотландии в 1964 году, Питер Хиггс понял, что все фундаментальные строительные блоки материи должны приобретать массу за счёт взаимодействия с некой невидимой вязкой субстанцией (называемой сегодня полем Хиггса), которая заполняет всё пространство. Кроме того, он заключил, что локальное возбуждение такого поля должно проявляться в форме новой субатомной частицы. На самом деле Хиггс был одним из пяти физиков, которые независимо друг от друга описали этот механизм, но прижилось название «механизм Хиггса». Почти через 40 лет самая большая машина в мире, стоившая десять миллиардов евро, — Большой адронный коллайдер — обнаружила бозон Хиггса. Для современных физиков это стало таким же шоком, как для современников Леверье осознание того, что природа действительно подчиняется уравнениям, которые они записывают на бумаге.

В физике единственной точно решаемой системой, то есть системой, любой этап эволюции которой можно точно предсказать, является система двух тел. Примерами такой системы являются Земля и Луна, движущиеся под взаимным гравитационным воздействием, или протон и электрон в атоме водорода, влияющие друг на друга с помощью электромагнитной силы. Если ввести в систему третье тело, то процессы окажутся настолько запутанными, что даже лучшие математики будут способны лишь на приближённый прогноз, а не на предсказание. Например, для расчёта траектории межпланетного зонда учёные, ответственные за планирование миссии, вынуждены полагаться на грубую силу. Они суммируют воздействие всех планет на зонд для заданной точки, затем определяют, как он будет двигаться в течение минуты после такого воздействия, затем повторяют расчёты для конечной точки движения и так далее. Долговременная эволюция системы из трёх или более массивных тел под влиянием их собственной гравитации теоретически предсказуема, но на практике невозможна. Это явление называют *детерминистским хаосом*, и из-за него даже небольшое изменение в стартовом положении планет может привести к совершенно непредсказуемому поведению в далёком будущем. Итак, в долгосрочной перспективе Солнечная система нестабильна. Как механические часы, которые могут в любой момент взорваться, разбрасывая вокруг себя пружины и шестерёнки, так и Солнечная система способна однажды отбросить Меркурий, Марс или любое другое космическое тело в далёкий холодный космос. Вполне вероятно, что в прошлом это уже случалось.

Каролина Гершель открыла больше всего планет, чем любая другая женщина-астроном, за исключением своей тёзки — Кэролин Шумейкер, работавшей в конце XX и начале XXI века.

Sheehan W., Thurber S. John Couch Adams's Asperger syndrome and the British non-discovery of Neptune // *Notes and Records of the Royal Society Journal of the History of Science*. — 22 September 2007. — Vol. 61. — Issue 3 (<http://rsnr.royalsocietypublishing.org/content/61/3/285>).

Все планеты движутся в одной плоскости, как если бы они лежали на большом прозрачном блюде с Солнцем в центре. Это объясняется тем, как 4,55 миллиарда лет назад сформировалась Солнечная система. Сферическое облако газа и пыли сжалось под воздействием собственной гравитации. Оно вращалось (как вращается весь Млечный Путь и звёзды в нём), а потому между полюсами сжатие было сильнее, чем вдоль окружности, где силе тяготения противостояло стремление материала разлететься в стороны. В результате облако приобрело форму тонкого диска, вращающегося вокруг новорождённого Солнца. Планеты сформировались из кусков космического мусора в этом диске, которые склеивались друг с другом. Вот почему они движутся примерно в одной плоскости и в одном направлении.

См. главу 3.

См. главу 3.

Batygin K., Brown M. Evidence for a distant giant planet in the Solar System // *Astronomical Journal*. — 20 January 2016. — Vol. 151. — P. 22.

Свет планеты — это отражение света звезды, вокруг которой она вращается, в то время как звезда сама генерирует свет благодаря ядерным реакциям в своём ядре. Для запуска таких реакций требуется температура в миллионы градусов, а для этого нужно, чтобы на ядро звезды воздействовала большая масса. Как помнит любой человек, пользовавшийся велосипедным насосом, если что-то сжать, оно нагревается. Порог, отделяющий планеты от звёзд, составляет примерно 0,08 массы Солнца или 80 масс Юпитера. Тела массой ниже этого порога являются планетами, а выше — звёздами.

В спектрографе используется дифракционная решётка, которая разделяет звёздный свет на разные цвета спектра. Такую решётку можно создать, нанеся множество параллельных царапин на поверхность прозрачного материала, и работает она куда лучше стеклянной призмы. Атомы элементов во внешней атмосфере звёзд на определённых частотах оставляют тёмные полосы в дифракционном узоре. Измерение доплеровского смещения предполагает, насколько сильно такие полосы смещаются по сравнению с аналогичными полосами, созданными земными элементами.

Экзопланеты обнаруживают не только благодаря флуктуациям их звёзд. Если планета движется вокруг звезды таким образом, что периодически проходит по звёздному диску со стороны, видной с Земли, она может затемнять свет звезды в диапазоне от 1%, если она сравнима по массе с Юпитером, и до 0,01%, если она имеет земную массу. Телескоп «Кеплер», запущенный на орбиту Земли в 2009 году, исследовал излучение более чем 100 000 звёзд и обнаружил таким образом свыше 1000 экзопланет.

Не все учёные непоколебимо верят в правоту Ньютона и его закона притяжения. Группа физиков под руководством Мордехая Милгрота из Института Веймана в Реховоте, Израиль, полагает, что при ускорении менее одной миллионной доли g гравитация изменяется, превращаясь в более сильную форму взаимодействия, которая не подчиняется закону обратных квадратов. Модифицированная ньютоновская динамика (MOND) способна описать орбитальное движение всех звёзд во всех спиральных галактиках с помощью одной-единственной формулы. Для сравнения: на данный момент для объяснения движения звёзд в каждой спиральной галактике нужно учитывать разное количество тёмной материи и её распределение. Вариант MOND, совместимый с теорией относительности Эйнштейна, был разработан Яковом Бекенштейном из Еврейского университета в Иерусалиме в 2000 году. См.: *Bekenstein J. Relativistic gravitation theory for the MOND paradigm.* — 2005. — [arXiv:astro-ph/0403694v6](https://arxiv.org/abs/astro-ph/0403694v6).

Rubin V., Thonnard N., Ford K. Rotational Properties of 21 Sc Galaxies with a Large Range of Luminosities and Radii, from NGC 4605 ($R = 4$ kpc) to UGC 2885 ($R = 122$ kpc). // *Astrophysical Journal*. — 1980. — Vol. 238. — P. 471 (<http://adsabs.harvard.edu/abs/1980ApJ...238..471R>).

Подробнее о Large Synoptic Survey Telescope см. по адресу <http://www.lsst.org>.

См. *Chown M.* Afterglow of Creation. — London: Faber & Faber, 2010.

100

Там же.

Чёрная дыра — это область космоса, в которой гравитация настолько сильна, что удерживает всё, что в неё попадает, включая свет (отсюда и эпитет «чёрная»). Чёрные дыры делятся на два типа: дыры звёздной массы, которые формируются, когда гравитация сжимает звезду в конце её жизненного цикла до невероятно малого объёма, и сверхмассивные чёрные дыры, которые могут быть в 50 миллиардов раз массивнее Солнца. Происхождение таких дыр неизвестно, но они находятся в центрах всех галактик, включая нашу. Некоторые физики предполагают, что могут существовать и дыры третьего типа: миниатюрные, возникшие в первые мгновения после Большого взрыва и существующие до наших дней.

В таблице 2 приведена скорость прецессии в перигелии для восьми планет Солнечной системы (<http://farside.ph.utexas.edu/teaching/336k/Newtonhtml/node115.html>).

153 миллиона километров. (*Примеч. ред.*)

149 миллионов километров. (*Примеч. ред.*)

Церера, крупнейший астероид, исследованный космическим аппаратом NASA «Dawn» в 2015 году, был открыт в первый день XIX века. В 1807 году за ним последовала Веста, а затем множество других космических тел. Изначально Цереру считали ещё одной планетой. Однако совокупная масса всех сотен тысяч астероидов составляет едва ли 1% от массы Земли. Астероиды считаются строительным мусором, оставшимся от рождения Солнечной системы. Они не сумели соединиться в планету из-за гравитационного воздействия Юпитера. Сегодня Церера считается одной из пяти «карликовых планет» Солнечной системы.

10 сантиметров. (*Примеч. ред.*)

Пятна — это области выхода магнитных полей на поверхность Солнца (фотосферу). Давление горячего газа в рамках солнечного пятна может быть не таким сильным, как в остальных частях фотосферы, так как его поддерживает давление магнитного поля. Соответственно, здесь газ оказывается на пару тысяч градусов холоднее, чем окружающая его фотосфера, температура которой составляет 5800 градусов Цельсия. Из-за более низкой температуры пятна на Солнце кажутся тёмными. См. *Green L. 15 Million Degrees.* — London: Viking Penguin, 2016.

Trotta R. The Edge of the Sky. — New York: Basic Books, 2014.

Einstein A. Zur Elektrodynamik bewegter Körper // *Annalen der Physik*. — 1905. — Vol. 17. — P. 891–921. (Рус. пер.: Эйнштейн А. К электродинамике движущихся тел. — 1905.)

Расстояние от Земли до Луны — 384 400 километров. (*Примеч. ред.*)

«В тот год в Арау я кое-что понял. Если бы кто-то двигался параллельно световому лучу со скоростью c (то есть скоростью света в вакууме), то для него такой луч представлялся бы осциллирующим электромагнитным полем в состоянии покоя. К сожалению, такое, судя по всему, невозможно! Это был мой первый мысленный эксперимент, связанный со специальной теорией относительности...» (*Einstein A. Autobiographische Skizze // Helle Zeit — Dunkle Zeit: In memoriam Albert Einstein / Seelig C., ed. — Zurich: Europa Verlag, 1956. — P. 146*).

Томас Юнг, живший в Лондоне, мог часто наблюдать, как от падения дождевой капли по поверхности лужи расходятся круги, гася или усиливая друг друга. Если поместить в лужу деревянную перегородку, то участки, в которых с ней сталкиваются волны от падения капли, будут чередоваться с участками, где вода спокойна. Юнг рассудил, что если он сумеет продемонстрировать такой же эффект интерференции в отношении света, то докажет его волновую природу. Он направил источник света на экран с двумя вертикальными прорезями, и за экраном возникли световые кольца, похожие на круги на воде. В том месте, где они пересекались, Юнг установил вертикальный белый экран и тут же увидел на нём узор из светлых и тёмных полос, похожий на штрихкод в супермаркете. Так он доказал, что свет является волной. Кроме того, расстояние между полосами позволило ему рассчитать, что длина этой волны (расстояние между двумя её пиками) составляет менее $1/1000$ миллиметра.

Дарвин Ч. Происхождение видов путём естественного отбора, или Сохранение благоприятных рас в борьбе за жизнь. — 1859.

На самом деле Майкл Фарадей предположил существование связи между электричеством и магнетизмом ещё раньше. В письме от 13 ноября 1845 года он отмечал: «Я обнаружил прямую связь между магнетизмом и светом, а также электричеством и светом. Мне кажется, что это открывает огромное и богатое поле для изучения» (The Letters of Faraday and Schoenbein, 1836–1862. — 1899. — P. 148). Помимо всего прочего, Фарадей обнаружил, что магнитное поле может изменять плоскость вибрации (поляризацию) световой волны. Это явление известно как фарадеевское вращение.

Уравнения Максвелла предполагают существование целого спектра невидимых невооружённому глазу электромагнитных волн, и видимый свет составляет лишь небольшую их долю. Длина радиоволн примерно в 1000 раз больше, чем световых.

Feynman R., Leighton R., Sands M. The Feynman Lectures on Physics, Volume II. — Boston: Addison-Wesley, 1989. — P. 1–11.

Эфир должен быть достаточно плотным, чтобы вибрировать на высокой частоте световых волн, и при этом достаточно лёгким, чтобы не мешать движению планет вокруг Солнца. Нечто, что твёрже стали, но при этом легче воздуха, — неудивительно, что физикам сложно его вообразить!

Устроиться в патентное бюро Эйнштейну помог его друг Марсель Гроссман, с которым они вместе изучали математику в Цюрихе. Гроссман поговорил со своим отцом, который порекомендовал Эйнштейна директору патентного бюро в Берне Фридриху Халлеру. Даже в конце жизни Эйнштейн с благодарностью отзывался обо всём, что сделал для него Гроссман.

Pais A. «Subtle is the Lord...»: The Science and the Life of Albert Einstein.
— Oxford: Oxford University Press, 1983.

Einstein A. Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt // *Annalen der Physik*. — 1905. — Vol. 17. — P. 132–148. (Рус. пер.: *Эйнштейн А.* Об одной эвристической точке зрения, касающейся возникновения и превращения света. — 1905.)

Einstein A. Eine neue Bestimmung der Moleküldimensionen // *Annalen der Physik*. — 1906. — Vol. 19. — P. 289–306. (Рус. пер.: Эйнштейн А. Новое определение размеров молекул. — 1906.)

Einstein A. Über die von der molekularkinetischen Theorie der Wärme geforderte Bewegung von in ruhenden Flüssigkeiten suspendierten Teilchen // *Annalen der Physik*. — 1905. — Vol. 17. — P. 549–560. (Рус. пер.: Эйнштейн А. О движении взвешенных в покоящейся жидкости частиц, требуемом молекулярно-кинетической теорией теплоты. — 1905.)

Einstein A. Zur Elektrodynamik bewegter Körper // *Annalen der Physik*. — 1905. — Vol. 17. — P. 891–921. (Рус. пер.: Эйнштейн А. К электродинамике движущихся тел. — 1905.)

Fölsing A. Albert Einstein. — London: Penguin Books, 1997. — P. 53.

Лекция в Киото, 14 декабря 1922 г. См. *Yoshimasa A. Ono*. How I created the theory of relativity // *Physics Today*. — August 1982. — Vol. 35. — Issue 8. — P. 45.

Там же.

Адамс Д. В основном безвредна. — 1992.

Хотя теория относительности говорит, что тело, движущееся относительно вас, должно казаться вам уменьшающимся по направлению движения, на самом деле вы этого не увидите. Всё дело в действии ещё одного эффекта. Свет от тех частей тела человека, которые находятся дальше от вас, будет двигаться к вам дольше, чем от более близких. Соответственно, вам будет казаться, что человек перед вами вращается. Если он стоит к вам лицом, вы увидите часть его затылка. Это явление называют релятивистской абберрацией или релятивистским излучением.

Новиков И. Д. Куда течёт река времени? — М.: Молодая Гвардия, 1990.

Датский физик Хендрик Лоренц и ирландский учёный Джордж Фицджеральд выявили, что тела должны казаться нам уменьшающимися по направлению движения. Этот эффект называется лоренцевым или фицджеральдовым сокращением. Однако, в отличие от Эйнштейна, они не считали это неизбежным следствием из принципов относительности и постоянства скорости света.

Несмотря на то что изначально теория Эйнштейна была известна как теория относительности, после того как он развил и обобщил её в 1915 году, название сменилось на специальную (в отличие от общей) теорию относительности.

Существование эфира было эмпирически опровергнуто американскими физиками Альбертом Михельсоном и Эдвардом Морли. В 1888 году они измерили скорость светового луча, двигавшегося в том же направлении, что и Земля вокруг Солнца. Через шесть месяцев, когда Земля начала двигаться в противоположном направлении, они повторили измерение. Как лодка, плывущая по ветру и против него, имеет разную скорость, так и свет, по их мнению, должен был замедлиться, столкнувшись с эфиром. К их изумлению, результаты оказались одинаковыми, а скорость света — неизменной. В 1907 году Михельсон получил за эту работу Нобелевскую премию по физике.

Если скорость света не зависит от скорости его источника, то согласно принципу относительности она также не зависит и от скорости наблюдателя.

Американский физик Джон Уилер говорил: «Время — это то, благодаря чему все события не происходят одновременно».

Если поезд движется со скоростью v , то путём простых геометрических вычислений можно доказать, что часы в его вагоне идут медленнее часов на перроне на $1 / \sqrt{1 - v^2/c^2}$. Кроме того, можно вычислить, что длина линейки в том же вагоне тоже уменьшится на $1 / \sqrt{1 - v^2/c^2}$. Число $1 / \sqrt{1 - v^2/c^2}$ называют фактором Лоренца и обозначают греческой буквой γ .

Что мы имеем в виду, когда говорим, что какое-то событие произошло в определённое время, например, кто-то зажёл спичку в 11 утра? Эйнштейн понял, что это означает одновременность двух событий: стрелки часов указали на 11, а спичка загорелась. Но представьте себе, что кто-то пытается зажечь спичку в вагоне поезда, движущегося с запада на восток. Человек в крайнем западном конце вагона увидит огонь раньше, чем в восточном, потому что за то время, пока свет долетит до него, поезд продвинется вперёд, сократив расстояние, которое свету необходимо покрыть. Так как возможность признавать одновременность явлений — это, по Эйнштейну, основание для учёта времени, неспособность сделать это означает, что универсального времени для всех не существует.

Flückiger M. Albert Einstein in Bern. — Bern: Verlag Paul Haupt, 1972. — P. 158.

Цит. по: *Misner C. Kip Thorne and John Wheeler, Gravitation. — New York: W. H. Freeman, 1973. — P. 937.*

«Сейчас самый подходящий момент» (No time like the present): *Chown M.* The Never-Ending Days of Being Dead. — London: Faber & Faber, 2007.

Строго говоря, импульс и энергия.

Einstein A. Ist die Trägheit eines Körpers von seinem Energieinhalt abhängig? // *Annalen der Physik*. — 1905. — Vol. 18. — P. 639–641. (Рус. пер.: *Эйнштейн А.* Зависит ли масса тела от содержащейся в нём энергии. — 1905.)

Достичь скорости света не может только тело, обладающее массой. Безмассовая частица (каковой, к примеру, является фотон) может перемещаться со скоростью света.

Эйнштейн не был автором термина «относительность». Более того, он ему даже не нравился. Первым об «относительной теории» заговорил великий немецкий физик Макс Планк на встрече в Штутгарте 19 сентября 1906 года, а затем его коллеги превратили это выражение в «теорию относительности». Эйнштейн использовал его лишь в 1911 году, но неохотно и даже заключив в кавычки. Ещё через несколько лет он принял неизбежное — и кавычки исчезли.

Когда министр финансов Великобритании Уильям Гладстон спросил Фарадея, в чём практическая польза электричества, тот ответил: «Как минимум в том, сэр, что скоро вы сможете обложить его налогом».

Поле — это физическая величина, имеющая определённое значение для каждой точки в пространстве и времени. Это может быть температура, обладающая лишь абсолютным значением, или магнитное поле, которое также имеет направление.

Конрад Хабихт был другом Эйнштейна с их студенческих лет в Цюрихе. Ещё одним их товарищем был Морис Соловин, и вся троица высокопарно называла себя «олимпийской академией». Они встречались в кафе и обсуждали идеи, почерпнутые из чтения научных и философских трудов и литературы.

Цит. по: *Schucking E., Surowitz E. Einstein's Apple: Homogeneous Einstein Fields.* — Singapore: World Scientific, 2015. — P. 2.

Kaku M. A theory of everything? (<http://p-i-a.com/Magazine/Issue6/MichioKaku.htm>).

Einstein A. The Collected Papers of Albert Einstein / Volume 5 — The Swiss Years: Correspondence, 1902–1914. — Princeton: Princeton University Press, 1993. — 67. Swiss Patent Office Letter on the AEG Alternating Current Machine. — P. 80 (<https://einsteinpapers.press.princeton.edu/vol5-doc/130>). За семь лет (с 1902 по 1909 год) Эйнштейн просмотрел около 2000 патентных заявок, но из всех его комментариев сохранился лишь этот. Швейцарская бюрократическая машина уничтожила остальные его экспертные заключения, несмотря на то что уже в 1905 году Эйнштейна стали считать звездой современной физики.

«Я падала, падала сквозь время и пространство, сквозь небо, и звёзды, и всё, что между ними. Я падала днями и неделями, как будто проживая одну жизнь за другой. Я падала до тех пор, пока не забыла, что падаю».

Rothenberg J. The Catastrophic History of You and Me. — London: Penguin, 2012.

К счастью, все лифты сегодня имеют системы безопасности и, если трос оборвётся, лифт просто остановится в шахте. Это неприятно, но вряд ли смертельно.

В идеале этот эксперимент нужно проводить на катке, чтобы исключить трение!

1 $g = 9,8$ метра в секунду в секунду. Именно такое ускорение возникает на поверхности Земли под влиянием гравитации. Иными словами, каждую секунду падающее яблоко (или любой другой предмет) ускоряется на 9,8 метра в секунду.

Для такого небольшого ускорения, как $1\ g$, этот эффект будет настолько слабым, что его можно будет зарегистрировать лишь с помощью высокоточных приборов.

Вам может показаться, что это объяснение замедления времени при сильной гравитации — всего лишь ловкий трюк, ведь в нём используются часы с лучом света, движущимся горизонтально, а не вертикально. На самом деле это делается для того, чтобы измерять время на постоянной высоте, то есть при неизменном уровне гравитации.

Chou J. C.-W. et al. Optical clocks and relativity // *Science*. — 24 September 2010. — Vol. 329. — P. 1630.

Berman D. String theory: From Newton to Einstein and beyond (<https://plus.maths.org/content/string-theory-newton-einstein-and-beyond>).

Аналогия с муравьями на батуте не совсем удачна. Её главная проблема в том, что она объясняет гравитацию через гравитацию. Ведь именно гравитация тянет шар для боулинга вниз, в результате чего на батуте возникает углубление. Разумеется, батут может находиться в космосе, где гравитация отсутствует, а шар может иметь электрический заряд и двигаться в результате толчка, приданного другим заряженным телом. Но так наша аналогия станет совсем запутанной. Лучше уж использовать первоначальную и закрыть глаза на её несовершенство.

Kaku M. A theory of everything? (<http://p-i-a.com/Magazine/Issue6/MichioKaku.htm>).

Вы можете задаться вопросом, почему движение от краёв к центру углубления в пространстве-времени, окружающего Землю, является естественным для нас, в то время как для нашей планеты естественно вращаться по окружности такого же углубления с центром в Солнце. Дело в том, что Земля движется с большой скоростью и потому не может упасть на Солнце, в то время как мы по отношению к Земле никуда не летим.

Newton I. The Principia / Edited by Florian. — 1687. — P. 643.

Первый детектор гравитационных волн (алюминиевый цилиндр длиной 2 метра и весом 1,4 тонны, который должен был звонить, как колокол, когда в него ударит волна пространства-времени) был построен Джо Уэбером из Университета Мэриленда. В 1970-х годах он заявил, что обнаружил гравитационные волны, но это утверждение оказалось ложным и погубило его репутацию, дав, однако, начало целой отрасли исследований.

Overbye D. Gravitational Waves Detected, Confirming Einstein's Theory // *New York Times*. — 11 February 2016 (<http://www.nytimes.com/2016/02/12/science/ligo-gravitational-waves-black-holes-einstein.html>).

Levin J. Black Hole Blues. — London: The Bodley Head, 2016.

Castelvecchi D. The black-hole collision that reshaped physics // *Nature*. —
23 March 2016
(http://www.nature.com/polopoly_fs/1.19612!/menu/main/topColumns/topLeftCo

Этот случай я помню лично. Будучи студентом Калтеха (который вместе с МТИ занимался постройкой LIGO), я участвовал во встрече с Древером, кажется, в 1984 году.

Рональд Древер умер 7 марта 2017 года. (*Примеч. ред.*)

Einstein A. Autobiographische Skizze // Helle Zeit — Dunkle Zeit: In memoriam Albert Einstein / Seelig C., ed. — Zurich: Europa Verlag, 1956. — P. 11.

Bellos A. Here's Looking at Euclid! — New York: Free Press, 2010.

Einstein A. The Collected Papers of Albert Einstein / Volume 8 — The Berlin Years: Correspondence, 1914–1918. — Princeton: Princeton University Press, 1998. — 403. To Heinrich Zangger. — P. 411 (<https://einsteinpapers.press.princeton.edu/vol8-trans/439>).

Несмотря на участие в создании ядовитых газов, применявшихся в Первой мировой войне, в 1919 году Фриц Габер получил Нобелевскую премию по химии за открытие процесса Габера–Боша, позволяющего синтезировать аммиак для удобрений из водорода и атмосферного азота.

Цит. по: *Smolin L.* Three Roads to Quantum Gravity. — London: Basic Books, 2000. — P. 137.

Поскольку энергия искривляет пространство-время (то есть создаёт гравитацию), а искривлённое пространство-время содержит энергию, получается, что одно искривление вызывает к жизни другое. Соответственно, общую теорию относительности можно свести к ньютоновской теории гравитации в тех случаях, когда искривлённое пространство-время содержит мало энергии и единственной важной силой является гравитация, вызываемая массой-энергией. И разумеется, когда все тела движутся со скоростью меньше скорости света.

Письмо Эйнштейна Конраду Хабихту, Берн, 24 декабря 1907 года.

Pais A. «Subtle is the Lord...»: The Science and the Life of Albert Einstein.
— Oxford: Oxford University Press, 1983. — P. 20.

Там же, р. 257.

Письмо Эйнштейна Паулю Эренфесту, Берлин, 16 января 1916 года.

В 1902 году Саймон Ньюкомб заявил: «Полёты на механизмах тяжелее воздуха непрактичны и не представляют интереса, если вообще возможны». Уже через год Орвил Райт доказал, что тот был не прав.

Newcomb S. The Elements of the Four Inner Planets and the Fundamental Constants of Astronomy: Supplement to the American Ephemeris and Nautical Almanax for 1897. — Washington DC: Government Printing Office, 1895. — P. 184.

Overbye D. A Century Ago, Einstein's Theory of Relativity Changed Everything // New York Times. — 24 November 2015.

Тензор напряжения похож на сумку, в которой хранятся все данные о том, что существует в определённой точке пространства-времени: удельная энергия, плотности импульсов, давление, деформация и так далее (http://pitt.edu/~jdnorton/teaching/HPS_0410/chapters/general_relativity/index.h

Несмотря на то что Эйнштейн родился и жил в Германии, строго говоря, он не был немцем, так как в 1986 году в возрасте 26 лет отказался от немецкого гражданства.

Частица света фотон не имеет внутренней массы (массы покоя), ведь, если бы она у него была, он не мог бы перемещаться со скоростью света. Его эффективная масса полностью определяется его энергией или, если точнее, энергией-импульсом.

Одна секунда дуги равна $\frac{1}{60}$ минуты дуги, которая, в свою очередь, составляет $\frac{1}{60}$ градуса. Соответственно, 1 секунда дуги — это $\frac{1}{3600}$ градуса.

Луч искривляется, близ Солнца пролетая. Причина ясная: свет массой обладает.

Levenson T. The Hunt for Vulcan. — London: Head of Zeus, 2015. — P. 161.

Rosenthal-Schneider I. Reality and Scientific Truth. — Detroit: Wayne State University Press, 1981. — P. 74.

Chaplin C. My Autobiography. — London: Penguin, 2003.

Bertault S. Piaf. — New York: Harper & Row, 1972.

Pais A. «Subtle is the Lord...»: The Science and the Life of Albert Einstein.
— Oxford: Oxford University Press, 1983. — P. 311–312.

Benford G. Leaping the Abyss // Reason Magazine. — April 2002
(<http://reason.com/archives/2002/04/01/leaping-the-abyss>).

Wheeler J., Ford K. Geons, Black Holes & Quantum Foam. — New York: W. W. Norton, 2000.

Джона Уилера часто считают создателем термина «чёрная дыра», но на самом деле он всего лишь популяризовал его. «Осенью 1967 года [я присутствовал] на конференции по пульсарам, — писал он. — В своей речи я рассказал, что следует рассматривать возможность нахождения в центре пульсара гравитационно сколлапсировавшего объекта. Но постоянно произносить “гравитационно сколлапсировавший объект” было трудно, и мне требовалось более короткое определение. “Может, назовём его чёрной дырой?” — спросил кто-то из аудитории. Я много месяцев пытался придумать нужный термин и думал о нём постоянно — в постели, в ванне, в машине, каждую свободную секунду. Но это неожиданное предложение показалось мне отличным вариантом. Когда... 29 декабря 1967 года я выступал с более формальной лекцией для “Сигма-Фи-Бета-Каппа”, я использовал этот вариант, а затем включил его в печатную версию лекции, опубликованную весной 1968 года». *Wheeler J., Ford K. Geons, Black Holes & Quantum Foam. — New York: W. W. Norton, 2000. — P. 296.*

Решение Карла Шварцшильда было применимо к «невращающейся» чёрной дыре. Но все небесные тела вращаются. Тем не менее расчёт искривления пространства-времени реальной (вращающейся) чёрной дырой был осуществлён новозеландским физиком Роем Керром лишь в 1963 году, почти через полвека после публикации общей теории относительности Эйнштейна.

Вид чёрной дыры не зависит от того, из какой звезды она сформировалась. Все чёрные дыры имеют три основные характеристики: массу, скорость вращения и электрический заряд. Крупные объекты обычно обладают отрицательным и положительным зарядом в равном объёме, что делает их нейтральными, поэтому на практике можно сказать, что чёрные дыры характеризуются лишь массой и скоростью вращения. Как пишет американский физик Джон Уилер, «у чёрной дыры нет волос». Иными словами, наблюдая за её поверхностью, мы не сможем ничего выяснить о событиях, приведших к её появлению.

Изначально Шварцшильд полагал, что сингулярность находится на границе чёрной дыры. Затем оказалось, что это была всего лишь ошибка использованной им системы координат. На самом деле сингулярность располагается в самом центре чёрной дыры.

См. главу 8.

Как замечал Ричард Фейнман, с точки зрения классической физики существование атомов совершенно невозможно. Но принцип неопределённости Гейзенберга исправляет эту ситуацию. Электрон в атоме вращается вокруг ядра, как планета — вокруг Солнца. Согласно теории электромагнетизма он действует как крошечный радиопередатчик, излучающий свою орбитальную энергию в виде электромагнитных волн. Для того чтобы упасть на ядро, ему требуется меньше миллионной доли секунды, но он не делает этого, потому что квантовую волну электрона нельзя сжать до заданного небольшого объёма. С точки зрения частиц электрон, который прижимается к ядру, похож на пчелу в постоянно сжимающейся коробочке, становящуюся всё более и более агрессивной и бьющуюся о стенки коробки всё сильнее и сильнее.

Chown M. We Need to Talk About Kelvin. — London: Faber & Faber, 2010.

Принцип Паули объясняет существование различных атомов (строительных блоков Вселенной). Соответственно, именно благодаря ему наш мир так сложен и разнообразен. Согласно теории электромагнетизма, после испускания всей своей орбитальной энергии электроны атома должны переместиться на низкоэнергетическую орбиту как можно ближе к ядру. Если бы это действительно происходило, то атомы всех 92 элементов имели бы один и тот же размер и вели себя одинаково (ведь поведение атома определяется тем, как в нём организованы электроны). Согласно принципу Паули электроны занимают «ниши» вокруг ядра, а от числа электронов во внешней нише зависит то, как атом связывается с другими и формирует химические соединения.

Электроны обладают внутренним спином — свойством, аналога которому в нашем повседневном мире не существует. Электроны не вращаются, но ведут себя так, как если бы делали это. Представим, что это вращение всё же происходит. Оно имеет минимальную допустимую в природе скорость и два возможных направления вращения — по часовой стрелке и против неё (или, говоря научным языком, вверх либо вниз). Соответственно, принцип Паули допускает существование в одной точке не одного, а двух электронов, имеющих одинаковую скорость.

Почему именно электроны, а не атомные ядра противостоят гравитации в звёздах? Всё дело в том, что ядра большие и медленные, а значит, выделяют гораздо меньше энергии, чем быстро движущиеся электроны. Но почему свободные электроны вообще существуют? Обычно в холодном газе (как мы помним, в нашей звезде больше не происходят внутренние процессы) все три электрона располагаются вокруг ядра. Они находятся так близко друг к другу, что их орбиты оказываются больше, чем расстояние до ядра. Говоря научным языком, они ионизированы под давлением.

Несмотря на то что за работу над пульсарами были вручены три Нобелевские премии по физике, ни одну из них не получила первооткрывательница пульсаров Джоселин Белл.

Pratchett T. Small Gods. — London: Corgi, 2013.

Simmons D. The Fall of Hyperion. — London: Gollancz, 2005.

Термин «Большой взрыв» был впервые использован британским астрофизиком Фредом Хойлом во время радиопередачи на BBC в 1949 году. Интересно, что Хойл был одним из создателей альтернативной гипотезы (теории стационарной Вселенной) и сам в Большой взрыв не верил.

2,5 метра. (*Примеч. ред.*)

В 1908 году Генриетта Левитт открыла одно свойство цефеид: чем больше период их пульсации, тем выше их собственная светимость. Соответственно, светимость цефеиды всегда можно вычислить по периоду её пульсации. Зная, насколько яркой она должна выглядеть с Земли и в каком виде наблюдается на самом деле, астрономы могут рассчитать расстояние до неё.

«Космос большой. Очень большой. Даже представить себе невозможно, какой он большой, огромный, колоссальный, сокрушительно-исполиньски-великанский». Дуглас Адамс, «Автостопом по Галактике», глава 8.

Частота (или высота) звука полицейской сирены повышается, если полицейская машина приближается к вам, и понижается, когда она начинает удаляться. Точно так же и частота света, излучаемого атомами в звезде, может становиться выше или ниже в зависимости от того, движется эта звезда по направлению к Земле или от неё. Измерив величину этого «доплеровского смещения» для атомов распространённых элементов, таких как водород, астрономы могут определить скорость движения звезды.

Для формирования элементов требуются высокие температуры, потому что атомные ядра имеют положительный заряд. Одинаковые заряды отталкиваются друг от друга, поэтому ядра яростно сопротивляются любому сближению. Но если столкнуть их на очень высокой скорости, можно преодолеть силу отталкивания и два ядра могут оказаться достаточно близко друг к другу, чтобы в дело вступили силы ядерного взаимодействия. А высокая скорость — это синоним высокой температуры, ведь температура — это всего лишь микроскопическое движение.

Артур Эддингтон, разработавший теорию о внутреннем строении звёзд, полагал, что, когда звёзды вращаются, потоки газа внутри них перемешиваются. Звезда превращает своё водородное топливо в гелиевый пепел, а побочным продуктом этой реакции является солнечный свет. В ходе данного процесса водород распределяется внутри звезды, и так происходит до тех пор, пока звёздный свет не тускнеет и не исчезает окончательно. Но Эддингтон был не прав. Никакого смешения не происходит. Вместо этого гелиевый пепел оседает в центре звезды, где сжимается и нагревается. Когда водородное топливо заканчивается, гелий пережигается в углерод, который тоже падает в центр звезды, сжимается и нагревается. В результате звёздный материал оказывается вовсе не равномерным, сами звёзды не потухают, а становятся химически дифференцированными, а их центр в течение миллионов и миллиардов лет становится всё плотнее и горячее. Возникают благоприятные условия для формирования элементов.

Все существующие в природе элементы не могли возникнуть в момент Большого взрыва, потому что огненный шар материи слишком быстро расширился и остыл. Условия, необходимые для формирования элементов, действовали примерно с первой до десятой минуты жизни Вселенной. Тем не менее этого было достаточно для возникновения атомов самых лёгких элементов, например лития и бериллия. В частности, Большой взрыв должен был превратить около десяти процентов атомов водорода в атомы гелия. Именно такое соотношение наблюдается сегодня во Вселенной, и это ещё один аргумент в пользу теории Большого взрыва. Почти все прочие, более тяжёлые элементы, от железа в нашей крови и кальция в костях до кислорода, которым мы дышим, родились внутри звёзд уже после Большого взрыва.

Чёрное тело впитывает все попадающее на него тепло. Оно распределяется между всеми его атомами в ходе постоянных столкновений быстрых атомов с более медленными. В результате чёрное тело излучает тепло вне зависимости от того, из какого вещества оно состоит. «Излучение чёрного тела» имеет универсальный спектр, который зависит лишь от одной величины — температуры.

Chown M. Afterglow of Creation. — London: Faber & Faber, 2010.

Schulman L. S. Source of the observed thermodynamic arrow // *Journal of Physics: Conference Series*. — 2009. — Vol. 174. — 012022. — [arXiv:0811.2787](#).

Сам Эйнштейн никогда не верил в чёрные дыры. В октябре 1939 года он опубликовал работу, в которой (ошибочно) заявил, что для образования чёрной дыры из скопления звёзд они должны вращаться вокруг друг друга со скоростью больше скорости света, что невозможно в соответствии со специальной теорией относительности. См. *Einstein A. On a Stationary System With Spherical Symmetry Consisting of Many Gravitating Masses // Annals of Mathematics. Second Series. — 1939. — Vol. 40. — No. 4. — P. 922* (<https://www.jstor.org/stable/1968902>).

См.: *Chown M.* Quantum Theory Cannot Hurt You. — London: Faber & Faber, 2014.

Строго говоря, квантовая теория описывает не малые, а «изолированные» тела, то есть тела, на которые не оказывает влияния их окружение. На практике, однако, это всё-таки делает квантовую теорию теорией малых тел, так как атом гораздо легче выделить из окружающей среды, чем более крупное тело — например, вас, ведь в вас постоянно будут врезаться молекулы воздуха и частицы света.

Einstein A. Näherungsweise Integration der Feldgleichungen der Gravitation // Sitzungsberichte der Königlich Preussischen Akademie der Wissenschaften. — Berlin: Verlag der Königlichen Akademie der Wissenschaften, 1916. — P. 696. (Также переиздано в книге: *Einstein A.* The Collected Papers of Albert Einstein / Volume 6 — The Berlin Years: Writings, 1914–1917. — Princeton: Princeton University Press, 1996. — 32. Approximate Integration of the Field Equations of Gravitation. — P. 347 (<https://einsteinpapers.press.princeton.edu/vol6-doc/375>))

Bragg W. Electrons and Ether Waves (The Robert Boyle Lecture 1921) // *Scientific Monthly*. — 1922. — Vol. 14. — P. 158.

Эту фразу Нильс Бор сказал Вольфгангу Паули после презентации нелинейной теории поля элементарных частиц Гейзенбергом и Паули в Колумбийском университете в 1958 году. См.: *Dyson F. Innovation in Physics // Scientific American.* — September 1958. — Vol. 199. — No. 3. — P. 74.

Гамма-лучи переносят ещё больше энергии, чем рентгеновские. Они были открыты французским физиком и химиком Полем Вилларом в 1900 году, а название им дал новозеландский физик Эрнест Резерфорд в 1903 году. Источником гамма-лучей являются ядра атомов, содержащие огромные объёмы энергии.

Когда свет попадает на поверхность определённого металла, с неё выбиваются электроны, и чем больше объём (выше интенсивность) света, тем больше электронов высвобождается. Но если энергия света имеет значение меньше порогового, высвобождения электронов не происходит. Согласно Эйнштейну, этот «фотоэлектрический эффект» можно объяснить тем, что свет состоит из фотонов, и только те из них, которые обладают достаточной энергией, в состоянии выбить электроны из атомов металла.

Как только были подтверждены существование атомов и их крохотные размеры (десять миллионов атомов могут поместиться в точку в конце этого предложения), учёные задумались о парадоксе. Длина волны видимого света примерно в 10 000 раз больше размеров атома. Как же он может поглощать или излучать свет? Всё дело в том, что свет локализуется в фотонах, имеющих атомные размеры.

Если верить стандартной космологической модели, также известной как модель расширения, когда-то Вселенная была так мала, что не содержала практически никакой информации. Сегодня учёные полагают, что всё было наоборот: информации в ней было ровно столько, сколько требовалось, чтобы описать местоположение каждого атома во Вселенной. На вопрос, откуда взялась эта информация, отвечает квантовая теория, в которой информация является синонимом случайности. Каждое случайное квантовое событие, произошедшее с момента Большого взрыва, например распад радиоактивного атома, добавляет Вселенной информации и сложности. Когда Эйнштейн говорил, что Бог не играет в кости, он был абсолютно не прав. Если бы Бог не играл в кости, Вселенной вообще не было бы или по крайней мере, в ней бы не происходило ничего интересного. См. главу «Random Reality» в книге: *Chown M. The Never-Ending Days of Being Dead.* — London: Faber & Faber, 2007.

См. главу 7.

Heisenberg W. Physics and Philosophy. — London: Penguin Classics, 2000.

Интерференция — это определяющая характеристика волн. Если две волны накладываются друг на друга и их пики совпадают, они усиливают друг друга и происходит конструктивная интерференция. Если же высшая точка одной из волн совпадает с нижней точкой другой волны, то они гасят друг друга и происходит деструктивная интерференция. Именно этот эффект продемонстрировал опыт Томаса Юнга в 1801 году (см. главу 5).

Строго говоря, вероятность обнаружения частицы в каком-либо месте равна квадрату волновой амплитуды в определённой точке. Вероятность всегда представляет собой число от 0 до 1, где 0 соответствует нулевой вероятности, а 1 — 100%-ной.

Большинство физиков полагают, что квантовые системы изолированы и что они перестают действовать в соответствии с квантовыми законами в результате процесса, называемого декогерентностью. Важно понять, что учёные ни разу не наблюдали квантовое поведение напрямую. Когда человеческий глаз регистрирует фотон, тот оставляет свой отпечаток на сотнях атомов. Именно его воспринимает мозг (то есть, по сути, всё, что мы видим, — это мы сами). Сотни атомов трудно удержать в суперпозиции (волны прекращают накладываться друг на друга, наступает декогерентность), и квантовые свойства утрачиваются. Однако, если бы все эти атомы можно было удержать в суперпозиции, квантовые эффекты, в принципе, могли бы проявляться в любых масштабах. Сегодня физики пытаются достичь этого, например построить «квантовый компьютер», основанный на способности квантовых систем одновременно проводить множество процессов. С другой стороны, Роджер Пенроуз полагает, что квантовые эффекты не могут проявляться во всех возможных масштабах и что существует порог массы, за которым происходит переход от квантовой физики к классической. Какая из сторон права, выяснится в результате экспериментов. См.: *Chown M. Quantum Theory Cannot Hurt You.* — London: Faber & Faber, 2006.

Соотнесение квантового мира, где всё существует в диапазоне вероятностей, и повседневного мира, где существование каждой вещи строго определено, — это фундаментальная и глубокая задача. Существует как минимум 13 интерпретаций квантовой теории, которые пытаются сделать это, и все они предсказывают одни и те же результаты для каждого возможного эксперимента. Возможно, самой невероятной интерпретацией является теория множественных миров, предложенная Хью Эвереттом III в 1957 году. Согласно ей каждая волна в суперпозиции описывает отдельную реальность. Например, если атом кислорода находится в суперпозиции двух волн, одна из которых описывает его расположение в левой части комнаты, а вторая — в правой, на самом деле он находится в обоих местах одновременно, но в двух параллельных реальностях.

Это поразительное открытие сделал французский математик Жозеф Фурье (1767–1830), который обнаружил, что, поместив две синусоиды с разной длиной волны и в разных фазах (то есть с рассинхронизированными пиками относительно друг друга) в суперпозицию, можно создать волну абсолютно любой формы, к примеру квадратную. Можно предположить, что как атомы являются базовыми строительными блоками материи, так и синусоиды — волн.

См. главу 8.

Сам Гейзенберг по-другому объяснял свой принцип неопределённости. Он говорил, что волновая природа любого тела, благодаря которой мы можем его видеть, делает невозможным определение его местоположения. Именно это учили десятки студентов-физиков. Но Гейзенберг был не прав. Принцип неопределённости не имеет никакого отношения к измерению. Неопределённость — это внутреннее свойство субмикроскопического мира. См.: *Brumfiel G. Quantum uncertainty not all in the measurement: A common interpretation of Heisenberg's uncertainty principle is proven false // Nature. — 11 September 2012.*

Представьте себе группу, которая состоит из движущихся мимо наблюдателя световых волн. Из-за существования неопределённости в её местоположении (dx) можно предположить, что и время прохождения волн мимо наблюдателя (dt) тоже не определено и равно dx/c , где c — это скорость света. А из-за неопределённости импульса (dp) также возникает неопределённость энергии (dE), равная $dp \times c$. Так как $dp \times dx > h/2\pi$, следовательно, $dE \times dt > h/2\pi$. В данном случае волна (очень удачно) движется со скоростью света, но этот результат верен и для более общих случаев, когда волновая группа представляет квантовую частицу, хотя в этом случае демонстрация будет более сложной.

Квантовый вакуум — это неизбежный результат двух факторов, первым из которых является существование силовых полей. Как уже упоминалось, физики рассматривают фундаментальную реальность как огромное море таких полей. В этой картине, известной как теория квантового поля, фундаментальные частицы — всего лишь локализованные выступы или узелки в поле. Электромагнитное поле изучено лучше всего, а также имеет наибольшее влияние на наш мир, потому что именно оно соединяет атомы в наших телах (и прочих предметах) воедино. Электромагнитное поле может колебаться бесчисленным количеством различных способов, и каждый вид осцилляции соответствует волне с определённой длиной. Представьте себе морские волны, которые могут быть как огромными валами, так и лёгкой рябью. Можно интуитивно предположить, что в космическом вакууме вообще нет электромагнитных волн, и это было бы действительно так, если бы не одна небольшая оговорка в принципе неопределённости Гейзенберга. Это, казалось бы, невинное утверждение имеет огромные последствия, так как требует, чтобы каждая из бесконечного количества осцилляций электромагнитного поля имела минимальный уровень энергии в соответствии с принципом неопределённости. Иными словами, существование каждого варианта колебаний — это не вероятность, а точный факт. Итак, квантовый вакуум вовсе не пуст. Наоборот, в нём наблюдается невероятная концентрация энергии, даже бóльшая, чем внутри атомного ядра. Мы не замечаем этого по той же причине, по которой не видим воздух: он повсюду одинаковый.

- Vasileiou V. et al.* A Planck-scale limit on space-time fuzziness and stochastic Lorentz invariance violation // *Nature Physics*. — 2015. — Vol. 11. — P. 344 (<http://www.nature.com/nphys/journal/v11/n4/full/nphys3270.html>).
- Perlman E. et al.* New constraints on quantum gravity from X-ray and gamma-ray observations // *Astrophysical Journal*. — 20 May 2015. — Vol. 805. — No. 1. — P. 10. — [arXiv:1411.7262v5](https://arxiv.org/abs/1411.7262v5).

Wolchover N. Visions of Future Physics // *Quanta Magazine*. — 22 September 2015 (<https://www.quantamagazine.org/nima-arkani-hamed-and-the-future-of-physics-20150922/>).

Planck M. Über irreversible Strahlungsvorgänge // *Annalen der Physik*. — 1900. — Vol. 306, Issue 1. — P. 69–122.

Rothman T., Boughn S. Can gravitons be detected? — 2008. — [arXiv:gr-qc/0601043v3](https://arxiv.org/abs/gr-qc/0601043v3).

Электронвольт (эВ) — это уровень энергии, приобретаемой электроном после разгона под воздействием 1 вольта. Гигаэлектронвольт (ГэВ) больше его в миллиард раз.

Commissariat T. BICEP2 gravitational wave result bites the dust thanks to new Planck data // *Physics World*. — 22 September 2014 (<https://physicsworld.com/a/bicep2-gravitational-wave-result-bites-the-dust-thanks-to-new-planck-data/>).

Einstein A. Näherungsweise Integration der Feldgleichungen der Gravitation // Sitzungsberichte der Königlich Preussischen Akademie der Wissenschaften. — Berlin: Verlag der Königlichen Akademie der Wissenschaften, 1916. — P. 696.

Адамс Д. Ресторан в конце Вселенной. — 1980.

Gorelik G. Why Is Quantum Gravity So Hard? And Why Did Stalin Execute the Man Who Pioneered the Subject? // *Scientific American*. — 14 July 2011. (<https://blogs.scientificamerican.com/guest-blog/why-is-quantum-gravity-so-hard-and-why-did-stalin-execute-the-man-who-pioneered-the-subject/>).

Бронштейн М. Всемирное тяготение и электричество (новая теория Эйнштейна) // *Человек и природа*. — 1929. — Выпуск 8. — С. 20.

Если повернуть частицу со спином 2 на половину оборота, она будет выглядеть так же, как в изначальном положении (представьте себе стрелу с двумя остриями). Чтобы получить тот же результат с частицей со спином 1, нужно повернуть её на полный оборот (обычная стрела с одним остриём). А вот в случае с частицей с половинным спином для подобного результата требуются два поворота! Представьте себе, что, обернувшись один раз вокруг своей оси, вы окажетесь другим человеком, а обернувшись дважды — снова станете собой. Именно так обстоят дела для электронов, самых распространённых частиц со спином $1/2$. Если квантовый спин — это что-то новое для науки, то половинный квантовый спин — дважды новое!

См. *Chown M.* We Need to Talk About Kelvin. — London: Faber & Faber, 2009. — Chapter 3: No More than Two Peas in a Pod at a Time.

Специальная теория относительности и квантовая теория также накладывают строгие ограничения на взаимодействие между частицами и переносчиками силы. Если вы предполагаете, что частица может одновременно взаимодействовать, например, с пятью или двенадцатью переносчиками, вы ошибаетесь. Переносчик может быть только один. Пространственно-временную диаграмму, которую обычно используют для иллюстрации такого события, называют диаграммой Фейнмана. На ней это ограничение показано как следующее условие: в одной точке пространства-времени (вершине) могут сойтись только три частицы. Например, если к вершине подходит электрон, фотон сталкивается с ним и поглощается, а затем электрон отбрасывается в другом направлении. Но специальная теория относительности и квантовая теория упрощают дело лишь в нашем обычном мире с низкими уровнями энергии и большими расстояниями. На малых расстояниях и при высоких энергетических уровнях взаимодействия происходят более сложным образом.

Weinberg S. The Quantum Theory of Fields. — Cambridge: Cambridge University Press, 2005. (Рус. пер.: *Вайнберг С.* Квантовая теория поля / В 3-х томах. — М.: Физматлит, 2015–2018.)

См. главу 8.

Главный кандидат на роль частицы тёмной материи — это суперсимметричная частица с наименьшей массой (нейтралино), которая представляет собой суперпозицию трёх частиц: фотино, хиггсино и зино.

Почему мы живём во Вселенной, наполненной материей, — одна из величайших научных загадок. Учёные могут лишь предполагать, что во время Большого взрыва произошёл какой-то перекос законов физики, из-за которых материя получила преимущество или часть антиматерии была уничтожена.

Leibniz G. Discours de métaphysique. — 1686. (Рус. пер.: *Лейбниц Г.* Рассуждение о метафизике. — 1686.)

На самом деле этот лауреат Нобелевской премии польского происхождения спросил: «Кто это заказывал?» — в 1936 году, когда открыл мюон — более тяжёлую версию электрона.

Альтернативный и более консервативный подход к поиску более глубокой теории гравитации называется теорией петлевой квантовой гравитации (см. *Smolin L. Three Roads to Quantum Gravity.* — London: Basic Books, 2002). Эта теория описывает гравитацию на квантовом уровне, но не пытается объединить её с другими видами взаимодействия. Кроме того, ещё не было доказано, что в макромасштабе она ведёт к общей теории относительности.

Кварки могут иметь одну из двух строго определённых конфигураций. Три кварка составляют барион (ими являются, например, протоны и нейтроны), а пара «кварк–антикварк» называется мезоном. Кварки удерживаются в границах барионов и мезонов только при низком уровне энергии. Если уровень энергии высок, как, например, был при Большом взрыве, они разрываются и формируется аморфная кварк-глюонная плазма.

Поскольку гравитация действует во всех направлениях, на расстоянии r от массивного тела она распространяется по площади сферы $4\pi r^2$ и, соответственно, уменьшается на $1/4\pi r^2$. На этом основании действует закон обратных квадратов.

Именно это и происходит с магнитным полем внутри суперпроводника — материала, охлаждённого до такой температуры, при которой исчезает его естественное электрическое сопротивление. Внутри материала магнитное поле заключено в узкие каналы, называемые силовыми трубками.

Veneziano G. Construction of a crossing-symmetric, Regge behaved amplitude for linearly rising trajectories // *Nuovo Cimento A.* — 1968. — Vol. 57. — P. 190. Теория Венециано, называемая дуально-резонансной моделью, позднее превратилась в теорию струн.

Williams R. H. String Theology. — 31 July 2006
(<http://www.mondaymorningmemo.com/newsletters/string-theology/>).

«Поразительные идеи одного из лучших физиков-теоретиков в мире»,
Australian Broadcasting Corporation, 25 февраля 2016 года.

Clarke A. C. The Wall of Darkness. The Other Side of the Sky. — London: Gollancz, 2003.

Randall L., Sundrum R. Large mass hierarchy from a small extra dimension // *Physical Review Letters*. — 1999. — Vol. 83 (17). — P. 3370. — [arXiv:hep-ph/9905221v1](#); *Randall L.* Warped Passages: Unravelling the Mysteries of the Universe's Hidden Dimensions. — New York: HarperCollins, 2006.

Радиус горизонта чёрной дыры резко увеличивается с ростом её массы. Если масса одной чёрной дыры в два раза больше, чем другой, то и её горизонт будет иметь в два раза больший радиус. Но так как сила гравитации ослабевает в соответствии с законом обратных квадратов, чёрная дыра, в два раза превышающая другую чёрную дыру по массе, будет иметь в два раза меньшую силу притяжения, а степень изменения силы притяжения такой дыры (приливная сила) окажется в четыре раза меньше. Поскольку именно приливная сила ответственна за разрыв пар «частица–античастица» и возникновение излучения Хокинга, оно оказывается сравнительно слабым для крупных чёрных дыр и сильным — для небольших.

Connor S. Stephen Hawking admits the biggest blunder of his scientific career — early belief that everything swallowed up by a black hole must be lost for ever // *Independent*. — 11 April 2013 (<http://www.independent.co.uk/news/science/stephen-hawking-admits-the-biggestblunder-of-his-scientific-career-early-belief-that-everything-8568418.html>).

Чёрное тело впитывает всё попадающее на него тепло. Оно распределяется между всеми его атомами в ходе постоянных столкновений быстрых атомов с более медленными. В результате чёрное тело излучает тепло вне зависимости от того, из какого вещества оно состоит. Излучение чёрного тела имеет универсальный спектр, который зависит лишь от одной величины — температуры.

Bekenstein J. Black holes and the second law // *Nuovo Cimento Letters*. — 1972. — Vol. 4. — P. 737; *Jacob Bekenstein.* Black holes and entropy // *Physical Review D*. — 1973. — Vol. 7. — P. 2333.

Strominger A., Vafa C. Microscopic origin of the Bekenstein–Hawking entropy. — 1996. — [arXiv:hep-th/9601029v2](https://arxiv.org/abs/hep-th/9601029v2).

Хотя возраст Вселенной составляет 13,82 миллиарда лет, расстояние до космического (светового) горизонта, то есть до границы наблюдаемой Вселенной, равняется 42 миллиардам световых лет. Это объясняется тем, что в первые мгновения своего существования Вселенная расширялась гораздо быстрее скорости света. Это не нарушает принципов относительности, потому что пространство — фон, на котором происходят космические события, — может расширяться с любой скоростью.

Maldacena J. The Large N Limit of Superconformal field theories and supergravity // *Advances in Theoretical and Mathematical Physics*. — 1998. — Vol. 2. — P. 231. — [arXiv:hep-th/9711200v3](https://arxiv.org/abs/hep-th/9711200v3).

См. главу 8.

Цит. по: Cowen R. The quantum source of space-time // *Nature*. — 19 November 2015. — Vol. 527. — P. 290.

Einstein A., Podolsky B., Rosen N. Can quantummechanical description of physical reality be considered complete? // *Physical Review*. — May 1935. — Vol. 47 (10). — P. 777 (<http://journals.aps.org/pr/pdf/10.1103/PhysRev.47.777>).

Einstein A., Rosen N. The particle problem in the general theory of relativity // *Physical Review*. — July 1935. — Vol. 48 (1). — P. 73.

Свет выделяется, когда электрон в атоме перемещается с высокоэнергетической орбиты на низкоэнергетическую. Атомы водорода, имеющие по одному электрону, не выделяют свет при очень низких температурах, когда электроны находятся на самых низкоэнергетических орбитах, или, наоборот, при максимальных температурах, когда атомы разогреваются настолько, что лишаются электронов.

Отталкивающая гравитация возникает потому, что в соответствии с общей теорией относительности источником гравитации является удельная энергия $(u) + 3 \times (P)$ (давление). Давлением атомов материи по сравнению с её удельной энергией можно пренебречь. Но есть случаи, в которых это правило не работает. Речь идёт о тёмной энергии. Для неё давление не просто имеет отрицательное значение, но и составляет менее $-1/3u$. Таким образом, знак источника гравитации меняется на противоположный, превращая её значение из положительного в отрицательное. Именно отталкивающая гравитация ускоряет расширение Вселенной. Тёмная энергия присутствует во всех сжимающихся пространствах и лишь в рамках общей теории относительности проявляет себя как отталкивающая гравитация.

Согласно общей теории относительности пустое пространство имеет внутреннее искривление, или энергию, известную как космологическая постоянная. Ноль — это нечасто встречающееся значение, и потому космологи не были особо удивлены, когда выяснили, что космологическая константа не равна ему. Однако их заинтересовало, что она оказалась слишком мала. Если верить квантовой теории, из-за квантовых флуктуаций вакуум должен содержать энергию. Но в соответствии с её предсказаниями удельная энергия вакуума (то есть величина тёмной энергии) должна быть в 10^{120} (1 с 120 нулями) раз больше, чем наблюдается на самом деле. Это самое большое несоответствие между прогнозом и реальным положением дел в истории науки! Данное значение можно было бы свести к наблюдаемому, если бы энергия вакуума дополнялась из ещё одного источника, имеющего отрицательное значение. Это сложная задача, но с ней может справиться суперсимметрия, так как флуктуации бозонных полей обладают положительной энергией, а фермионных — отрицательной.

Мордехай Милгром из Института Веймана в Реховоте, Израиль, полагает, что при ускорении менее одной миллионной доли g гравитация изменяется, превращаясь в более сильную форму взаимодействия, которая не подчиняется закону обратных квадратов. Модифицированная ньютоновская динамика (MOND) способна описать орбитальное движение всех звёзд во всех спиральных галактиках с помощью одной-единственной формулы. Для сравнения: на данный момент для объяснения движения звёзд в каждой спиральной галактике нужно учитывать разное количество тёмной материи и её распределение. Вариант MOND, совместимый с теорией относительности Эйнштейна, был разработан Яковом Бекенштейном из Еврейского университета в Иерусалиме в 2000 году. См. *Bekenstein J. Relativistic gravitation theory for the MOND paradigm.* — 2005. — [arXiv:astro-ph/0403694v6](https://arxiv.org/abs/astro-ph/0403694v6).

Carroll R. Kip Thorne: physicist studying time travel tapped for Hollywood
film // *Guardian.* — 21 June 2013
(<https://www.theguardian.com/science/2013/jun/21/kip-thorne-time-travel-scientist-film>).

Oberg B. (ed.). The Papers of Benjamin Franklin. Vol. 31. — New Haven: Yale University Press, 1995. — P. 455.

Clarke A. C. Clarke's Third Law. Profiles of the Future. — London: Gateway, 2013.