

НЕРЕАЛЬНАЯ РЕАЛЬНОСТЬ

Путешествие
по квантовой
петле

Карло
Ровелли



ТРАЕКТОРИЯ

ФОНД ПОДДЕРЖКИ НАУЧНЫХ,
ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ И КУЛЬТУРНЫХ
ИНИЦИАТИВ



Карло Ровелли
Нереальная реальность.
Путешествие по
квантовой петле
Серия «New Science»

http://www.litres.ru/pages/biblio_book/?art=43253419

*Нереальная реальность. Путешествие по квантовой петле: Путер;
Санкт-Петербург; 2020
ISBN 978-5-4461-1082-7*

Аннотация

«Карло Ровелли – это человек, который сделал физику сексуальной, ученый, которого мы называем следующим Стивеном Хокингом». – The Times Magazine

Что есть время и пространство? Откуда берется материя? Что такое реальность?

«Главный парадокс науки состоит в том, что, открывая нам твердые и надежные знания о природе, она в то же время стремительно меняет ею же созданные представления о реальности. Эта парадоксальность как нельзя лучше отражена в книге Карло Ровелли, которая посвящена самой острой проблеме современной фундаментальной физики – поискам квантовой теории гравитации.

Упоминание этого названия многие слышали в сериале “Теория Большого взрыва”, но узнать, в чем смысл петлевой гравитации, было почти нигде. А между тем эта теория – один из важных игроков на переднем крае фундаментальной физики». – Александр Сергеев, сооснователь, автор заданий и завлаб проекта «Открытая лабораторная»

Содержание

Предисловие к русскому изданию	6
От автора	12
Предисловие. Прогулка вдоль берега	15
Часть I	22
1	24
Существует ли предел делимости?	37
Конец ознакомительного фрагмента.	43

Карло Ровелли
Нереальная реальность.
Путешествие по
квантовой петле

CARLO ROVELLI

Reality Is Not What It Seems

The Journey to Quantum Gravity

© 2014, Raffaello Cortina Editore

© Перевод на русский язык ООО Издательство «Питер»,

2020

© Издание на русском языке, оформление ООО Издательство «Питер», 2020

© Серия «New Science», 2020

Предисловие к русскому изданию

Александр Сергеев, переводчик, научный редактор, со-основатель и завлаб «Открытой лабораторной» (<http://laba.media>)

Главный парадокс науки состоит в том, что, открывая нам твердые и надежные знания о природе, она в то же время стремительно меняет ею же созданные представления о реальности. Эта парадоксальность как нельзя лучше отражена в книге Карло Ровелли, которая посвящена самой острой проблеме современной фундаментальной физики – поискам квантовой теории гравитации.

Это первая научно-популярная книга на русском языке, основной темой которой является теория петлевой квантовой гравитации. Упоминание этого названия многие слышали в сериале «Теория Большого взрыва», но узнать, в чем смысл петлевой гравитации, было почти нигде. А между тем эта теория – один из важных игроков на переднем крае фундаментальной физики.

Около ста лет назад в науке произошла грандиозная революция. На смену ньютоновской механистической парадигме пришли две новые фундаментальные теории. Одна из них – общая теория относительности, благодаря которой мы узнали, что живем в искривленном четырехмерном пространстве-времени, неевклидова геометрия которого и есть гра-

витация. Другая – квантовая теория поля, показавшая, что все знакомые нам предметы, включая наши тела, состоят из «размазанных» по пространству полей вероятности.

Эти теории блестяще подтвердились везде, где их удалось проверить экспериментально, но при этом они несовместимы между собой. И хотя их противоречия проявляются только в экстремальных условиях черных дыр и Большого взрыва, логика неумолима: по крайней мере одна из теорий неточна. Многочисленные попытки геометризовать фундаментальные взаимодействия и квантовать гравитационное поле не привели к успеху, и для снятия противоречий нам, похоже, предстоит вскрыть новый слой физической реальности. Большие надежды в этом плане подает теория струн – фаворит в гонке за квантовой гравитацией. Она достаточно широко популяризирована, но в последние годы сталкивается с трудностями, что подогревает интерес к ее конкурентам.

Петлевая квантовая теория гравитации – как раз и есть главный конкурент. Если теория струн наделяет пространство дополнительными сильно закрученными измерениями, то петлевая теория меняет картину реальности еще радикальнее. Вместо пространства и времени мы сталкиваемся дискретной флуктуирующей спиновой пеной, которая лишь в относительно крупных масштабах, как бы при взгляде издали, становится привычным непрерывным пространством-временем.

Карло Ровелли входит в число основоположников петлевой квантовой гравитации. Занимаясь одной из самых экзотических и передовых фундаментальных теорий, он, однако, крепко укореняет свои идеи в общекультурном фундаменте. Для этого есть глубокая причина. Картина реальности, предлагаемая петлевой квантовой гравитацией, настолько необычна и контринтуитивна, что необходимо потратить специальные усилия, чтобы показать ее генетическую связь со всей историей развития научного знания, начиная с древнегреческой эпохи. Только поэтапно отследив смену картин реальности – от Демокрита через Ньютона, Максвелла, Эйнштейна и до квантовой физики – можно понять, что странная модель, предлагаемая петлевой квантовой гравитацией, в определенном смысле является естественным возвратом к истокам этой линии развития.

Демокрит постулировал дискретность материи, но впоследствии эта идея была отброшена, и в натурфилософии господствовало представление о непрерывности и бесконечной делимости всего, из чего состоит мир. Обратное движение началось с химии, где были обнаружены атомы, затем дискретность материи нашла выражение в квантовой механике. Но и в ней, и в теории относительности пространство и время остаются бесконечно делимыми. Именно это Карло Ровелли считает одним из главных препятствий на пути к объединению теории гравитации и квантовой механики. Отказ от непрерывного пространства-времени избавляет от

сингулярностей в теории относительности и расходимостей в квантовой теории и, вероятно, от противоречий между двумя теориями.

С петлевой гравитацией тесно связана реляционная интерпретация квантовой механики – еще одна важная идея Карло Ровелли. Суть ее состоит в том, что физический смысл имеют не сами по себе частицы, а только отношения (взаимодействия) между ними. Иными словами, физические объекты и системы существуют не сами по себе, а лишь относительно других объектов и систем. В каком-то смысле можно сказать, что реляционная интерпретация до предела обобщает принцип относительности.

Многие физики считают вопрос об интерпретации квантовой механики не столько научным, сколько философским, ведь на результатах вычислений интерпретация не сказывается. Однако научная роль интерпретации в том, что она согласует квантовомеханическую картину мира с интуицией человека. Это значительно повышает эвристичность теории, то есть ее потенциал в деле поиска новых явлений и объяснений – в частности, квантовой теории гравитации.

Впрочем, и чисто философские вопросы отнюдь не чужды Ровелли. Как глубоко европейский человек он с энтузиазмом демонстрирует неожиданные параллели между современными научными теориями и художественными образами, заключенными, например, в «Божественной комедии» Данте. С некоторой гордостью приводит он и ссылки на работы со-

временных философов, которые с позиций своей дисциплины анализируют его реляционную интерпретацию.

И это не все. Реляционный подход позволяет Ровелли сделать глубокие суждения о понятии информации, которое в последнее время играет все большую роль в физике. В частности, оказывается, что именно через него рождается привычное нам время, которого, согласно петлевой квантовой гравитации, нет в спиновой пене, лежащей в основе реальности.

Хотя квантовая гравитация – в высшей степени математизированная теория, рассказ о ней в книге ведется без формул (пара исключений сделана по чисто эстетическим мотивам). Вкупе с многочисленными историко-культурными отступлениями это делает стиль изложения обманчиво легким. Но это не повод расслабляться. В английском издании книга не случайно называется «Reality is not what it seems» – «Реальность – не то, чем она кажется». Для понимания идей, стоящих за поисками квантовой гравитации, надо быть готовым к перепрошивке своих глубинных представлений о природе реальности.

И еще один парадокс науки – ее многослойность. Порой одно и то же простое утверждение на разных уровнях рассмотрения может превращаться из верного в ошибочное и наоборот. С этим не раз приходилось сталкиваться разработчикам тестовых заданий в рамках просветительского проекта «Открытая лабораторная», при участии которого подго-

товлен перевод книги Карло Ровелли. Порой хрестоматийные научные факты оказываются сомнительными или вовсе ложными с учетом всей глубины современного знания. Книга Ровелли содержит немало иллюстраций этого парадокса и наверняка послужит мотивом для новых тестов и публикаций <http://laba.media> – проекта для тех, кто любит науку, но в школе сидел на задней парте.

От автора

На протяжении всей моей научной карьеры друзья и просто любопытствующие просили меня объяснить, что происходит в области исследований квантовой гравитации. Как удается находить новые способы осмыслить пространство и время? Меня не раз просили рассказать об этих исследованиях в доступной форме. В то время как существует множество книг, посвященных космологии и теории струн, книги, где описывались бы исследования по квантовой природе пространства и времени, а также по петлевой квантовой гравитации, практически невозможно найти. Я долго колебался, поскольку хотел сосредоточиться на исследованиях. Несколько лет назад, завершив монографию по этой теме, я почувствовал, что коллективная работа многих ученых довела эту область исследований до той стадии зрелости, когда стало возможным написать научно-популярную книгу. Ландшафт, который мы исследуем, восхитителен – стоит ли продолжать скрывать его от других людей?

Но я продолжал откладывать проект, поскольку не мог «увидеть» книгу в своей голове. Как описать мир без пространства и времени? В 2012 году, сидя в одиночестве за рулем на ночной дороге из Италии во Францию, я вдруг понял, что единственный способ доходчиво объяснить постоянную модификацию понятий пространства и времени со-

стоит в том, чтобы рассказать всю историю с самого начала: от идей Демокрита и до представления о квантах пространства. В конце концов, именно так я сам понимаю эту историю. Я стал мысленно набрасывать структуру книги прямо за рулем, приходя во все большее возбуждение, пока не услышал полицейскую сирену и требование остановиться – я намного превысил разрешенную скорость. Итальянский полицейский вежливо спросил меня, не сошел ли я с ума – ехать с такой скоростью. Я ответил, что только что нашел идею, которую так долго искал; он не стал выписывать мне штраф и пожелал удачи с новой книгой. Эта книга перед вами.

Первоначально книга была написана на итальянском и впервые опубликована в 2014 году. Вскоре после этого я подготовил несколько статей о фундаментальной физике для одной итальянской газеты. Знаменитый итальянский издатель Адельфи заказал мне расширенную версию этих статей, которая вышла в виде брошюры. Так появилась небольшая книга «Семь коротких лекций по физике», которая, к моему огромному удивлению, стала международным бестселлером и стала поводом для общения со многими замечательными читателями по всему миру. Таким образом, «Семь лекций» были написаны *после* этой книги и в какой-то мере стали синтезом некоторых вопросов, которые затрагиваются здесь. Если вы уже читали «Семь коротких лекций по физике» и хотите узнать больше, чтобы еще глубже погрузиться в странный мир, описанный в той книге, то здесь вы найдете

необходимые подробности.

Несмотря на то что традиционная физика представлена в этой книге с довольно необычной точки зрения, в целом это не вызывает споров. Однако та часть книги, которая касается современных исследований по квантовой гравитации, отражает мое личное понимание состояния изученности этой темы. Эта область знания находится на границе между тем, что мы понимаем, и тем, чего еще не понимаем, поэтому нам еще очень далеко до достижения консенсуса по основным связанным с ней вопросам. Некоторые из моих коллег-физиков согласятся с тем, что я написал в этой книге, другие – не согласятся. Это обычная ситуация для актуальных исследований, ведущихся на границах нашего знания, но я предпочитаю говорить об этом ясно и открыто. Эта книга не о том, в чем мы уверены; эта книга – о приключениях на пути к непознанному.

В целом она о путешествии, посвященная одному из самых впечатляющих приключений, выпавших на долю человечества: путешествию за пределы парохильных взглядов на реальность ко все более глубокому пониманию строения вещей. И это невероятное путешествие за пределы обыденной картины мира еще далеко не закончено.

Марсель,

4 мая 2016 года

Предисловие.

Прогулка вдоль берега

Мы заиклены на себе. Мы изучаем *свою* историю, *свою* психологию, *свою* философию, *своих* богов. Большая часть нашего знания обращается вокруг самого человека, как если бы он был самым важным объектом во Вселенной. Я думаю, что физика нравится мне потому, что приоткрывает завесу, за которой можно увидеть нечто большее. Она дает мне чувство свежего воздуха, задувающего в окно.

То, что мы видим через это окно, постоянно нас удивляет. Мы уже многое знаем о Вселенной. За прошедшие столетия мы стали понимать, как много ошибочных идей было у человечества. Мы думали, что Земля плоская и что она покоится в центре нашего мира, что Вселенная маленькая и неизменная, что человек был создан отдельно, безо всякого родства с другими животными. Но постепенно мы узнали о существовании кварков, черных дыр, частиц света, волн пространства и невероятных молекулярных структур в каждой клетке нашего тела. Человечество похоже на подрастающего ребенка, который с удивлением обнаруживает, что мир не ограничивается его спальней и детской площадкой, что он огромен и в нем есть тысячи явлений, ждущих открытия, а также бесчисленные идеи, разительно отличающиеся от тех, что были

у него вначале. Вселенная многообразна и безгранична, и мы продолжаем ошибаться, сталкиваясь с ее новыми аспектами. Чем больше мы узнаём о мире, тем больше поражаемся его разнообразию, красоте и простоте.

Но чем больше мы узнаем, тем лучше понимаем, что непознанное во много раз больше всего того, что мы уже знаем. Чем мощнее становятся наши телескопы, тем более странными и неожиданными предстают перед нами небеса. Чем пристальнее мы всматриваемся в мельчайшие элементы материи, тем больше глубин открывается нам в ее строении. Сегодня мы проникли в историю Вселенной почти до самого Большого взрыва – великого катаклизма, в котором 14 миллиардов лет назад были рождены все галактики, – но мы уже начали замечать нечто большее, чем Большой взрыв. Мы знаем, что пространство искривлено, и уже предвидим, что это пространство сплетено из вибрирующих квантовых волокон.

Наше знание элементарной грамматики Вселенной продолжает расширяться. Если попробовать объединить все, что мы узнали о физическом мире в XX веке, то начнет складываться картина, глубоко отличающаяся от того, чему нас учили в школе. Фундаментальная структура нашего мира возникает как порождение множества квантовых событий в отсутствие времени и пространства. Квантовые поля генерируют пространство, время, материю и свет, вызывая обмен информацией между событиями. Реальность – это сеть от-

дельных событий; динамика, которая их соединяет, – вероятностна; между отдельными событиями пространство, время, материя и энергия превращаются в облако вероятностей.

Этот странный новый мир медленно открывается перед нами благодаря исследованиям главной темы фундаментальной физики – квантовой гравитации. Задача этих исследований – целостно объединить то, что мы узнали о мире из двух величайших открытий физики XX века – общей теории относительности и квантовой теории. Квантовая гравитация – странный мир, который раскрывается в ходе этих исследований, – и есть основная тема этой книги.

Эта книга – живое описание ведущихся исследований: того, что мы изучаем, того, что уже знаем, и того, что, как нам кажется, мы начинаем понимать о фундаментальной природе вещей. Мы начнем издалека, с происхождения некоторых ключевых идей, служащих для упорядочения современного понимания мира, и с описания двух великих открытий XX века – эйнштейновской теории относительности и квантовой механики, и постараемся сфокусироваться на их основном физическом содержании. Мы расскажем о той картине мира, которая рождается сегодня в исследованиях по квантовой гравитации, с учетом последних данных, предоставленных нам Природой, таких как подтверждение стандартной космологической модели, полученное с помощью спутника «Планк», и неудачных попыток пронаблюдать суперсимметричные частицы, зарегистрировать которые многие

надеялись в ЦЕРНе. Затем мы поговорим о следствиях из этих идей – дискретной структуре пространства, исчезновении времени в малых масштабах, физике Большого взрыва, происхождении излучения черных дыр и, в конечном счете, о роли информации в основаниях физики.

В знаменитой притче, рассказанной Платоном в седьмой книге «Государства», узники, прикованные в глубине темной пещеры, видят только тени, отбрасываемые на стену горящим позади них огнем. Они думают, что это и есть реальность. Один из них освобождается, выходит из пещеры и открывает для себя свет солнца и огромный мир. В первый момент свет, к которому его глаза непривычны, ошеломляет его и приводит в замешательство. Но в конце концов он оказывается способен видеть и в волнении возвращается к своим товарищам, чтобы рассказать им о том, что ему открылось. Но они отказываются ему верить.

Мы все находимся в глубине пещеры, скованные нашим незнанием и нашими предубеждениями, а наши слабые глаза дают нам увидеть только тени. Пытаясь заглянуть дальше, мы приходим в замешательство – для нас слишком необычно то, что открывается перед нами. Но мы пытаемся идти дальше. Это и есть наука. Научное мышление исследует и пересматривает картину мира, постепенно предлагая нам все более совершенное видение и более эффективные мыслительные ходы. Наука – это непрерывное исследование способов мышления. Ее сила состоит в способности эффективно раз-

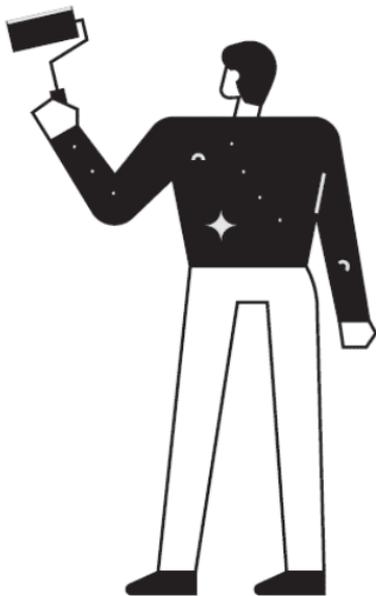
рушать предубеждения, открывать новые области реальности и строить неожиданные, более совершенные представления о мире. Это деятельность, которая опирается на всю совокупность прошлого знания, но суть ее состоит в изменениях. Наш мир безграничен и многоцветен; мы хотим рассмотреть его как можно лучше. Неполнота и ненадежность нашего знания, неуверенность, порождаемая необозримостью бездн непознанного, вовсе не делают жизнь бессмысленной – они делают ее интересной и драгоценной.

Я написал эту книгу, чтобы рассказать о том, что восхищает меня в этом приключении. Своего читателя я представлял человеком, который мало или даже ничего не знает о современной физике, но ему интересно все, что мы уже знаем и чего еще не знаем о фундаментальной природе нашего мира, а также то, каким образом мы ведем свои поиски. Я хотел поделиться захватывающей красотой той панорамы реальности, которая открывается перед нами в результате этих поисков.

Я писал эту книгу и для своих коллег, своих спутников, разбросанных по всему миру, а также для юношей и девушек, восхищенных наукой и планирующих впервые присоединиться к этому путешествию. Я хотел представить им общую картину и строение физического мира, каким он видится в двойном свете релятивизма и квантовой физики, и показать, как их можно объединить. Эта книга не только раскрывает тайны Вселенной, но также обозначает опреде-

ленную точку зрения в области исследований, где абстракции и технические детали иногда становятся помехой для широкого взгляда. Наука состоит из экспериментов, гипотез, уравнений, вычислений и продолжительных дискуссий; но это лишь средства достижения цели, подобно инструментам для музыкантов. В конечном счете, для музыки важна сама музыка, а для науки важно понимание мира, которое она обеспечивает. Чтобы понять значимость открытия того, что Земля обращается вокруг Солнца, не обязательно следовать за сложными вычислениями Коперника; для понимания важности открытия того, что все живые существа на нашей планете имеют общих предков, необязательно проследживать сложную аргументацию книг Дарвина. Суть науки состоит в понимании нашего мира со всё более широкой точки зрения.

Эта книга отражает мое текущее понимание того, в каком состоянии находятся сейчас наши поиски новой картины мира. Именно так я ответил бы коллеге и другу, который, прогуливаясь долгим летним вечером по берегу моря, задал бы мне вопрос: «Так что же ты думаешь об истинной природе вещей?»



Часть I

Корни

Сюжет этой книги начинается 26 столетий назад в Милете. Почему разговор о квантовой гравитации отталкивается от столь древних событий, людей и идей? Я надеюсь, что читатель, горящий желанием достичь понимания квантов пространства, не будет иметь ничего против. Идеи проще понять, начиная с тех корней, из которых они выросли, а значительное число идей, которые помогли нам в деле постижения нашего мира, возникли более двух тысяч лет назад. Эти идеи станут намного понятнее, если мы проследим за их рождением; в этом случае все дальнейшие шаги окажутся проще и естественнее.

Но есть еще один важный момент. Некоторые проблемы, впервые поставленные в Античную эпоху, продолжают оставаться ключевыми для нашего понимания мира. Некоторые из самых современных идей о структуре пространства используют представления и подходы, впервые появившиеся в то время. Говоря о тех далеких идеях, я имею в виду вопросы, которые станут ключевыми для квантовой гравитации. Кроме того, это поможет нам, обсуждая квантовую гравитацию, отличать идеи, восходящие к самым истокам научной мысли, даже если мы с ними не знакомы, от идей совершенно

новых. Связь между проблемами, поставленными древними учеными, и решениями, которые найдены Эйнштейном и в теориях квантовой гравитации, как мы увидим, на удивление тесна.

1

Крупницы

Согласно преданию, в 450 году до нашей эры на корабль, идущий из Милета в Абдеру, сел человек. Его путешествие сыграло решающую роль в истории познания.

Этот человек, вероятно, бежал от политических беспорядков в Милете, где аристократия совершила насильственный переворот. Милет был благополучным и процветающим греческим городом, возможно, самым главным городом греческого мира до наступления золотого века Афин и Спарты. Он был важнейшим торговым центром в сети, объединявшей почти сотню колоний и торговых форпостов от Черного моря до Египта. В Милет приходили караваны из Месопотамии и корабли со всего Средиземноморья, что способствовало обмену идеями.

В течение предшествующего столетия в Милете произошла революция в мышлении, имевшая фундаментальное значение для всего человечества. Группа философов пересмотрела способ постановки вопросов о мире и формулирования ответов на них. Величайшим из этих мыслителей был Анаксимандр.



Рис. 1.1. Путешествие Левкиппа Милетского, основателя атомистической школы (около 450 года до нашей эры)

С незапамятных времен или, по крайней мере, с тех пор как человечество стало создавать дошедшие до нас письменные тексты, люди задавались вопросом о том, как появился мир, из чего он состоит, как управляется и каковы причины природных явлений. Тысячелетиями люди сами себе отвечали на эти вопросы весьма сходным образом: рассказывая изощренные истории о духах, божествах, воображаемых и мифологических существах и других подобных сущностях. От клинописных табличек до древнекитайских текстов, от иероглифических надписей в пирамидах до легенд индейцев сиу, от большинства древнеиндийских манускриптов до Библии, от африканских сказаний до мифов абориге-

нов Австралии – все это было пестрым, но, по сути своей, очень однородным потоком рассказов о пернатых змеях и небесных коровах, о вспыльчивых, соперничающих или дружелюбных божествах, создающих мир, произнося над безднами: «Да будет свет!», о спонтанном рождении мира из каменного яйца и т. п.

Тогда в Милете, в начале пятого столетия до нашей эры Фалес, его ученик Анаксимандр, Гекатей и их последователи обнаружили иной способ поиска ответов. Это была грандиозная революция в мышлении, которая дала начало новому формату знания и постижения мира, ознаменовав собой зарю научной мысли.

Милетцы понимали, что, в отличие от поиска ответов в своей фантазии, древних мифах и религии, искусное использование наблюдения и рассуждения, а главное, применение критического мышления при выборе вариантов может последовательно уточнять наше мировоззрение и открывать новые аспекты реальности, скрытые от обыденного здравого смысла. Это в принципе способ открывать что-то новое.

Возможно, самым важным открытием стал иной стиль мышления, при котором ученик больше не обязан признавать и разделять идеи своего учителя, но имеет право отталкиваться от этих идей, не боясь отбрасывать или критиковать те части, которые можно усовершенствовать. Это был совершенно новый срединный путь, идущий между безоговорочной верностью школе и полным отказом от ее идей. Он

стал ключом к последующему развитию философского и научного мышления: отныне и впредь знание начинает прирастать головокружительными темпами, питаемое как старыми идеями, так и возможностью их критики, позволявшей усовершенствовать прежнее знание и понимание. Вступительные слова книги Гекатея об истории поразительным образом схватывают самую суть критического мышления, включая ясное понимание нашей склонности к ошибкам: «Я пишу этот так, как мне представляется истинным, ибо рассказы эллинов многообразны и смехотворны, как мне кажется»¹.

По легенде, Геракл спустился в царство Аида с мыса Тенарон. Гераклит посетил мыс Тенарон и выяснил, что в действительности здесь нет никакого подземного прохода или иного доступа в царство Аида, и заключил отсюда, что легенда была ложной. Это заключение и отмечает зарю новой эры.

Новый подход к познанию работает быстро и впечатляюще. Всего за несколько лет Анаксимандр приходит к пониманию того, что Земля плавает в небесах, которые продолжают под Землей; что дождь появляется за счет испарения воды с земли; что существует возможность объяснить всё разнообразие веществ в мире, сведя их к единой неделимой простой составляющей, которую он называет *апейроном*, неопределенным; что животные и растения эволюцио-

¹ Цит. по: Фрагменты ранних греческих философов. Ч. I. – М.: Наука, 1989. – С. 136. – *Примеч. пер.*

нируют и адаптируются к изменениям окружающей среды, а человек развился путем эволюции других животных. Так постепенно были заложены основы того понимания мира, которые в основном сохраняются по сей день.

Расположенный на границе зарождающейся греческой цивилизации с древними империями Месопотамии и Египта, питаемый их знаниями, но погруженный в типично греческую атмосферу свободы и политической гибкости, лишенный имперских дворцов и могущественных жреческих каст, населенный гражданами, имевшими возможность обсуждать свою судьбу на открытых агорах, Милет был местом, где люди впервые сами принимали свои законы; здесь стал собираться первый в истории парламент – в Панионии² встречались делегаты Ионийского союза, – и именно здесь люди впервые усомнились, что лишь боги способны разобраться в загадках нашего мира. Посредством дискуссии можно найти лучшее для сообщества решение; посредством дискуссии можно достичь понимания мира. Это важнейшее наследие Милета, колыбели философии, естественных наук, географических и исторических исследований. Не будет преувеличением сказать, что вся научная и философская традиция – средиземноморская, а затем и современная – уходит корнями в рассуждения милетских мыслителей VI века до нашей

² Панионий – святилище Посейдона, расположенное на мысе Микале между городами Милетом и Эфесом. – *Примеч. пер.*

эры³.

Это милетское просвещение вскоре ждал катастрофический финал. Появление Персидской империи и провал антиимперского восстания привели к безжалостному разрушению города в 494 году до нашей эры и обращению в рабство большого числа его жителей. В Афинах поэт Фриних написал трагедию «Падение Милета», которая произвела столь глубокое впечатление на афинян, что ее повторные постановки были запрещены, поскольку она причиняла чрезмерные страдания зрителям. Однако двадцать лет спустя греки отразили персидскую угрозу; Милет был восстановлен, вновь заселен и вернул себе роль центра торговли и знаний, вновь начав распространять свой просветительский дух.

Человек, упомянутый нами в начале главы, вероятно, был движим этим духом, когда, по преданию, в 450 году взошел на борт корабля, идущего из Милета в Абдери. Его звали Левкипп. О его жизни известно мало⁴. Он написал книгу под названием «Великий диакосмос»⁵. Прибыв в Абдери, он

³ Об Анаксимандре и милетцах см.: Carlo Rovelli. *The First Scientist: Anaximander and His Legacy*. – Yardley, Westholme, 2007. – Здесь и далее примеч. автора, если не указано иное.

⁴ О милетском происхождении Левкиппа сообщает, например, Симплиций (см.: M. Andolfo. *Atomisti antichi. Frammenti e testimonianze (Древний атомизм. Фрагменты и свидетельства)*. – Milan, Rusconi, 1999. – Р. 103.) Однако в этом нет уверенности. Связь с Милетом и Элеей важна в плане его культурных корней; чем Левкипп обязан Зенону Элейскому, обсуждается на следующих страницах.

⁵ В русскоязычной литературе встречается также название «Великий мирострой», а в англоязычной литературе, в частности у автора настоящей книги,

основал научную и философскую школу, к которой вскоре присоединился молодой ученик Демокрит, идейное влияние которого простирается на все последующие времена.

Вместе эти два мыслителя построили величественное здание античного атомизма. Левкипп был учителем. Демокрит – великим учеником, написавшим десятки книг по всем областям знания. Его глубоко уважали в древности, когда большинство людей были знакомы с его трудами. «Отличавшийся среди всех древних острым умом», – писал о нем Сенека⁶. «Кого могли бы мы сравнить с ним не только по величию таланта, но и по величию духа?» – спрашивал Цицерон⁷.

упоминается как «The Great Cosmology». – *Примеч. пер.*

⁶ Seneca. *Naturales questiones*, VII, 3, 2d // Сенека. Философские трактаты / Пер. Т. Ю. Бородай. – СПб., 2001. – С. 346. (Здесь и далее: если издание выходило на русском языке, приводятся его выходные данные. – *Примеч. пер.*).

⁷ Cicero. *Academica priora*, II, 23, 73 // Цицерон. Учение академиков / Пер. Н. А. Федорова. – М., 2004. – С. 143.



Рис. 1.2. Демокрит из Абдеры

Что же такого открыли Левкипп и Демокрит? Милетцы понимали, что мир можно познать посредством разума. Они пришли к убеждению, что различные естественные феномены должны сводиться к чему-то простому, и пытались понять, что это может быть. Они считали, что существует своего рода элементарная субстанция, из которой состоит все остальное. Милетец Анаксимен представлял, что эта субстанция может сжиматься и разрежаться, превращаясь тем самым в разные элементы, из которых состоит мир. Это был первый росток физики, очень грубый и примитивный, но растущий в правильном направлении. Чтобы постичь скрытый порядок мира, требовалась идея, великая идея, грандиозное прозрение. Левкипп и Демокрит нашли эту идею.

Идея системы Демокрита предельно проста: вся Вселенная состоит из безграничного пространства, в котором движутся бесчисленные атомы. Пространство не имеет пределов; в нем нет ни верха, ни низа; у него нет ни центра, ни границы. Атомы не имеют никаких свойств, кроме формы. У них нет веса, цвета, вкуса. «Лишь в общем мнении существует сладкое, в мнении – горькое и в мнении – теплое, в мнении – холодное, в мнении – цвет, в действительности же существуют атомы и пустота»⁸.

⁸ Sextus Empiricus. *Adversus mathematicos*, VIII, 135. – Loeb Classical Library, 1989 // Демокрит в его фрагментах и свидетельствах древности / Под ред. Г. К.

Атомы неделимы; это элементарные крупницы реальности, которые невозможно разделить на части, и все остальное состоит из них. Они свободно движутся в пространстве, сталкиваются друг с другом; они цепляются, тянут и толкают друг друга. Подобные атомы притягиваются друг к другу и соединяются.

Это – ткань мира. Это – реальность. Все остальное – не что иное, как произвольный, случайный, побочный результат движения и соединения атомов. Бесконечное многообразие субстанций, составляющих мир, возникает исключительно в результате соединения этих атомов.

Когда атомы соединяются, единственное, что имеет значение, единственное, что существует на фундаментальном уровне, – это их форма, их взаиморасположение и порядок, в котором они соединяются. Точно так же, как соединяя разными способами буквы алфавита, мы можем создать комедии и трагедии, глупые истории и эпические поэмы, элементарные атомы соединяются, порождая мир во всем его разнообразии. Эта метафора принадлежит самому Демокриту⁹.

У бесконечного танца атомов нет ни конца, ни цели. Мы сами, как и весь естественный мир, – один из множества результатов этого вечного танца. Результат, который является лишь случайной комбинацией. Природа продолжает экс-

Баммеля. – М.: ОГИЗ, 1935. – С. 166.

⁹ Aristotle. *On Generation and Corruption*, A1, 315b 6, в кн.: *The Complete Works of Aristotle*, Vol. I. – Princeton, Princeton University Press, 1984 // *Аристотель. О возникновении и уничтожении* // Собр. соч.: В 4 т. Т. 3. – М., 1981. – С. 379.

периментировать с формами и структурами, и мы, подобно животным, – продукт отбора, произвольного и случайного, идущего на протяжении эонов. Наша жизнь – это комбинация атомов, наши мысли состоят из крошечных атомов, наши сны – порождения атомов; наши надежды и эмоции записаны на языке, образованном комбинациями атомов; свет, который мы видим, состоит из атомов, которые доносят до нас образы. Из атомов состоят моря, наши города, звезды над нами. Это – всеобъемлющая картина; безграничная, невероятно простая, невероятно мощная, та, на которой в дальнейшем может строиться все знание цивилизации.

Основываясь на этой картине, Демокрит написал десятки книг, в которых детально излагал обширную систему, позволяющую работать с вопросами физики, философии, этики, политики и космологии. Он пишет о природе языка, о религии, о происхождении человеческих обществ и о многом другом. (Весьма претенциозными словами: «Говоря следующее обо всем»¹⁰ – начинает Демокрит свою книгу «Малый диакосмос»¹¹.) Все эти книги были утрачены. Мы знаем об идеях Демокрита только по цитатам и ссылкам у других древних авторов, а также по их кратким пере-

¹⁰ Древнегреческие атомисты / Ред. А. О. Маковельский. – Баку, 1946. – С. 295. – *Примеч. пер.*

¹¹ Книга была посвящена природе человека, но кратко пересказывала содержание «Великого диакосмоса». – *Примеч. пер.*

сказам его идей¹². Из этих источников возникает представление о Демокрите как о ярком гуманисте, рационалисте и материалисте.¹³ В нем сочетается острое внимание к природе, подчеркнутое естественнонаучной ясностью мышления при рассмотрении каждой из существующих систем мифологических идей, и глубокая этичность жизненных установок, предвосхищающая за две тысячи лет лучшие проявления эпохи Просвещения. Этический идеал Демокрита – это безмятежный ум, достигший сдержанности и равновесия за счет доверия разуму и не позволяющий страстям сбивать себя с толку.

Платон и Аристотель были знакомы с идеями Демокрита и боролись с ними. Они придерживались иных идей, которые впоследствии стали препятствием для развития знания на многие столетия. Оба они настаивали на отказе от демокритовских натуралистических суждений в пользу попыток понять мир с телеологических позиций (веры в то, что всё происходящее имеет цель; этот способ мышления, как оказалось, ведет к глубоким заблуждениям в понимании природы) или через понятия добра и зла, что вызвало смешение

¹² Коллекция древних фрагментов и свидетельств о высказываниях атомистов приводится в книге М. Andolfo “Ancient Atomists” (*примеч. авт.*). – Полная антология фрагментов и высказываний, касающихся Демокрита, была опубликована Соломоном Лурье (*Лурье С. Я. Демокрит. – Л., 1970 (примеч. пер.)*).

¹³ Краткая интересная работа об идеях Демокрита, помещающая их в контексте гуманизма: S. Martini. *Democrito: filosofo della natura o filosofo dell'uomo?* (*Демокрит: философ природы или философ человека?*) – Rome, Armando, 2002.

гуманитарных вопросов с проблемами, которые не имеют к ним отношения.

Аристотель подробно и с уважением говорит об идеях Демокрита. Платон никогда не цитирует Демокрита, но современные исследователи предполагают, что это было намеренное решение, а не недостаток знаний о его трудах. Неявная критика идей Демокрита содержится в нескольких работах Платона, например в его критике «физиков». Так, в диалоге «Федон» устами Сократа Платон бросает «физикам» отчетливый упрек, имевший далеко идущие последствия. Он недоволен, когда «физики» говорят о круглой форме Земли, и протестует, поскольку хочет знать, что «хорошего» в том, что Земля круглая, какая польза для нее от круглой формы. Платоновский Сократ припоминает, что был вначале в большом восторге от физики, но потом разочаровался в ней.

Я <...> думал, что нашел <...> учителя, который <...> расскажет, плоская ли Земля или круглая, а рассказавши, объяснит необходимую причину – сошлется на самое лучшее, утверждая, что Земле лучше всего быть именно такой, а не какой-нибудь еще. И если он скажет, что Земля находится в центре [мира], объяснит, почему ей лучше быть в центре¹⁴.

Как же глубоко заблуждается здесь великий Платон!

¹⁴ Платон. Соч.: В 4 т. Т. 2. – СПб., 2007. – С. 69. – *Примеч. пер.*

Существует ли предел делимости?

Величайший физик второй половины XX века Ричард Фейнман писал в начале своего великолепного вводного курса лекций по физике:

Если бы в результате какой-то мировой катастрофы все накопленные научные знания оказались бы уничтоженными и к грядущим поколениям живых существ перешла бы только одна фраза, то какое утверждение, составленное из наименьшего количества слов, принесло бы наибольшую информацию? Я считаю, что это – атомная гипотеза (можете называть ее не гипотезой, а фактом, но это ничего не меняет): *все тела состоят из атомов – маленьких телец, которые находятся в непрерывном движении, притягиваются на небольшом расстоянии, но отталкиваются, если одно из них плотнее прижать к другому*. В одной этой фразе, как вы убедитесь, содержится невероятное количество информации о мире, стоит лишь приложить к ней немного воображения и чуть соображения¹⁵.

Не располагая знаниями современной физики, Демокрит тем не менее пришел к мысли, что всё состоит из неделимых частиц. Как ему это удалось?

¹⁵ Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике: В 9 т. Т. 1. Современная наука о природе. Законы механики. – М.: Наука, 1965. – С. 23. – Примеч. пер.

Он использовал аргументы, основанные на наблюдениях; например, он совершенно верно предполагал, что износ колеса и высыхание белья на веревке могут происходить из-за медленного улечувивания частиц соответственно дерева и воды. Кроме того, у него были аргументы философского плана. Сконцентрируемся на них, поскольку их сила простирается вплоть до квантовой гравитации.

Демокрит заметил, что вещество не может быть непрерывным целым, поскольку такое допущение приводит к противоречию. Мы знаем о рассуждениях Демокрита, поскольку их описывает Аристотель¹⁶. Представим, говорит Демокрит, что вещество бесконечно делимо, то есть его можно разделять на части до бесконечности. Что останется в результате?

Могут ли это быть крошечные частицы, имеющие протяженности? Нет, поскольку в этом случае такие частицы материи не были бы делимыми до бесконечности. Поэтому остаются только точки без протяженности. Но теперь попробуем составить кусок материи из таких точек: сложив вместе две точки без протяженности, вы не получите протяженную вещь, так же как и из трех точек и даже из четырех. На самом деле, сколько бы точек вы ни сложили вместе, вы никогда не получите протяженности, поскольку у точек ее нет. Поэтому материю нельзя представлять состоящей из точек, лишенных протяженности, потому что независимо от того, сколько

¹⁶ Аристотель. О возникновении и уничтожении // Собр. соч.: В 4 т. Т. 3. – М., 1981. – С. 379. – Примеч. пер.

точек мы объединим, мы никогда не сможем получить нечто, имеющее пространственную протяженность. Единственная возможность, заключает Демокрит, состоит в том, что любая часть вещества состоит из *конечного* числа дискретных неделимых порций, каждая из которых имеет *конечные* размеры, – атомов.

Это весьма тонкое рассуждение появилось еще до Демокрита. Его родина – область Чиленто в Южной Италии, где сейчас находится город Велия, а в V веке до нашей эры была процветающая греческая колония Элея. Здесь жил Парменид, философ, который буквально – в чем-то даже излишне – воспринял рационализм Милета и возникшую там идею о том, что разум способен показать нам, насколько вещи отличаются от того, чем они кажутся. Парменид пытался искать истину посредством одного только чистого разума, и этот путь привел его к утверждению, что всё видимое иллюзорно; это способствовало открытию нового направления мысли, которое со временем все более склонялось к метафизике, отдаляясь от того, что впоследствии стало естественными науками. Ученик Парменида Зенон, также родом из Элеи, стал автором изощренных аргументов в поддержку этого фундаменталистского рационализма, категорически отвергающего достоверность внешних проявлений. Среди этих рассуждений был набор парадоксов, известных как апории Зенона; они направлены на то, чтобы показать иллюзорность всего видимого, доказывая, что обыденное представление о дви-

жении абсурдно¹⁷.

Самый знаменитый из парадоксов Зенона излагается в виде короткой басни. Черепаха вызвала Ахиллеса на состязание в беге с условием десятиметровой форы для себя. Может ли Ахиллес догнать черепаху? Зенон доказывает, что, согласно строгой логике, это ему никогда не удастся. Ведь прежде чем догнать черепаху, Ахиллес должен будет преодолеть 10 метров, и чтобы сделать это, ему понадобится некоторое время. За это время черепаха продвинется на несколько сантиметров. Чтобы преодолеть эти сантиметры, Ахиллесу потребуется еще немного времени, за которое черепаха продвинется еще чуть дальше, и так до бесконечности. Ахиллесу, таким образом, потребуется *бесконечное число подобных шагов*, чтобы догнать черепаху, а *бесконечное число шагов*, рассуждает Зенон, это *бесконечное количество времени*. Следовательно, согласно строгой логике, Ахиллесу потребуется бесконечное количество времени, чтобы догнать черепаху; иначе говоря, он никогда ее не догонит. Но поскольку мы видим, что проворный Ахиллес догоняет и обгоняет столько черепах, сколько захочет, мы приходим к заключению, что видимое нами иррационально и потому иллюзорно.

Честно говоря, всё это звучит не слишком убедительно.

¹⁷ Недавно вышедшее хорошее изложение парадоксов Зенона с разъяснением их философского и математического значения: Vincenzo Fano. *I paradossi di Zenone (Апории Зенона)*. – Rome, Carocci, 2012.

Но где же допущена ошибка? Один из возможных ответов состоит в том, что Зенон ошибался, полагая, что сложение бесконечного числа вещей приводит к бесконечной вещи. Представьте, что вы взяли кусок струны, разрезали его пополам, затем еще раз пополам и так до бесконечности. В конце вы получите бесконечное число крошечных кусочков струны; их сумма, однако, будет конечной, поскольку из них можно сложить лишь кусок струны исходного размера. Получается, что из бесконечного числа струн может получиться конечная струна; бесконечное число всё более коротких отрезков времени может складываться в *конечное* время, и герою, хотя и придется преодолеть бесконечное число постоянно уменьшающихся дистанций, удастся сделать это за *конечное* время и в итоге догнать черепаху.

Кажется, парадокс разрешен. Решение состоит в идее континуума: могут существовать сколь угодно малые отрезки времени, а их бесконечное число может складываться в конечный отрезок времени. Аристотель первым интуитивно понял эту возможность, которая в дальнейшем исследовалась древними и современными математиками¹⁸

¹⁸ Математики говорят о сходящихся бесконечных суммах, или рядах. Например, бесконечная сумма $1/2 + 1/4 + 1/8 + 1/16 + \dots$ сходится к 1. Во времена Зенона не было представления о бесконечных сходящихся рядах. Их открыл Архимед несколькими столетиями позже и использовал для вычисления площадей. Ими активно пользовался Ньютон, но полной ясности с этими математическими объектами не было вплоть до работ Больцано и Вейерштрасса, выполненных в XIX столетии. Аристотель, однако, уже понимал, что это возможный способ ответа Зенону; введенное Аристотелем различие между актуальной бесконечностью и

потенциальной бесконечностью уже содержит в себе ключевую идею: различие между отсутствием предела делимости и возможностью иметь нечто уже разделенным на бесконечное число частей.

Конец ознакомительного фрагмента.

Текст предоставлен ООО «ЛитРес».

Прочитайте эту книгу целиком, [купив полную легальную версию](#) на ЛитРес.

Безопасно оплатить книгу можно банковской картой Visa, MasterCard, Maestro, со счета мобильного телефона, с платежного терминала, в салоне МТС или Связной, через PayPal, WebMoney, Яндекс.Деньги, QIWI Кошелек, бонусными картами или другим удобным Вам способом.