



ОСНОВЫ
реальности

10 фундаментальных
принципов
устройства Вселенной

Фрэнк
Вильчек

Лауреат Нобелевской
премии по физике

МИФ Научпоп

Фрэнк Вильчек

**Основы реальности. 10
Фундаментальных принципов
устройства вселенной**

«Манн, Иванов и Фербер (МИФ)»

2021

УДК 001:53
ББК 99.1:22.3

Вильчек Ф.

Основы реальности. 10 Фундаментальных принципов устройства вселенной / Ф. Вильчек — «Манн, Иванов и Фербер (МИФ)», 2021 — (МИФ Научпоп)

ISBN 978-5-00-169884-5

Один из лучших популяризаторов науки Фрэнк Вильчек в доступной форме описывает основные составляющие физической реальности – пространство, время, материю, энергию и динамическую сложность. Вы узнаете о теории Большого взрыва и возникновении Вселенной, познакомитесь с одними из крупнейших проектов современности: охотой на частицу Хиггса и поиском гравитационных волн, положивших начало новому виду «многоканальной» астрономии. Книга лауреата Нобелевской премии по физике для всех, кто хочет приблизиться к пониманию устройства Вселенной. На русском языке публикуется впервые.

УДК 001:53
ББК 99.1:22.3

ISBN 978-5-00-169884-5

© Вильчек Ф., 2021
© Манн, Иванов и Фербер
(МИФ), 2021

Содержание

Предисловие. Заново родиться	6
Введение	10
Часть I. Чем изобилен мир?	15
Глава 1. Здесь много пространства	15
Конец ознакомительного фрагмента.	19

Фрэнк Вильчек

Основы реальности. 10 Фундаментальных принципов устройства вселенной

Оригинальное название: Fundamentals. Ten Keys to Reality

Научный редактор Игорь Красиков

Все права защищены.

Никакая часть данной книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме без письменного разрешения владельцев авторских прав.

Copyright © 2021 by Frank Wilczek. All rights reserved.

© Издание на русском языке, перевод, оформление. ООО «Манн, Иванов и Фербер», 2021

* * *

Посвящается Бетси

ОТКРОВЕНИЯ¹

*Из сотен, тысяч разных элементов
Плетется жизни ткань узорами моментов.
Рождение, знания, любовь, седые годы –
Всё это крохи, что даны природой,
Даров непрошенных, непознанных оков.
Вселенной ширь, небесных тел движение –
За гранью разума, игры воображенья,
В законе вечности и языке без слов.
Нам каждый час диктует перемены,
А мы бежим, но видим непременно,
Что далеко тот бег не уведет.
Нас прошлое влечет своим размахом,
Но бой часов нам с трепетом и страхом
Величие его передает,
А Время смотрит вслед и движется вперед.
Но сколько б мир ни открывал я вновь,
Ты мне дороже всех, с тобой моя любовь.*

¹ Перевод Ольги Юрченко. Прим. ред.

Предисловие. Заново родиться

I

Эта книга об основных уроках, доступных нам благодаря изучению физического мира. Я встречал немало тех, кто интересовался его устройством и жаждал узнать, что говорит о нем современная наука. Среди них были юристы, врачи, художники, студенты, учителя, родители – множество любопытных и умных людей, которым просто не хватало знаний. На этих страницах я попытался рассказать об основных идеях современной физики как можно проще, но не жертвуя точностью. Работая над книгой, я постоянно вел мысленные беседы со своими любознательными друзьями и вспоминал их вопросы.

Для меня ключевые принципы устройства физического мира – нечто гораздо большее, чем голые факты. Безусловно, сами по себе они и убедительны, и удивительно красивы, но и образ мыслей, приведший нас к ним, – тоже огромное достижение. И важно понять, что именно эти принципы говорят о том, как мы – люди – вписываемся в общую картину мира.

II

Я выбрал десять общих принципов устройства физического мира – тех, которые видятся мне ключевыми, – и посвятил каждому по главе. В основной части каждой главы я сначала объясняю тему и рассматриваю ее с разных точек зрения, а затем делаю некоторые обоснованные предположения о ее будущем. Строить эти предположения было увлекательно; надеюсь, что и вас они заинтересуют. Кроме того, с их помощью я стараюсь донести еще одну важную мысль: наше понимание мира не стоит на месте, а постоянно развивается.

Я старательно разграничиваю предположения и факты, а говоря о фактах, указываю способ их наблюдения и вид экспериментов, давших соответствующие результаты. Возможно, наиболее фундаментальный вывод таков: *мы и в самом деле* очень глубоко понимаем многие свойства физического мира. Альберт Эйнштейн сказал: «То, что [Вселенная] постижима, – это чудо». Это открытие тоже далось человечеству ценой больших усилий.

Именно потому, что постижимость Вселенной так удивительна, ее необходимо доказать, а не просто предположить. И самое весомое доказательство здесь – то, что наше понимание мироустройства, пусть и неполное, открыло нам путь к новым достижениям и делам, великим и невероятным.

Своими исследованиями я пытаюсь заполнить пробелы в нашем понимании мира и придумать новые эксперименты, раздвигающие границы возможного. Создавая эту книгу, я с удовольствием бросил взгляд назад и восхитился успехами, которых сообща достигли целые поколения ученых и изобретателей, живших в разное время и в разных странах.

III

Книга «Основы реальности», кроме того, предлагает альтернативу традиционным религиозным постулатам. Некоторые из затронутых здесь вопросов рассматриваются и в религии, но я обращаюсь к физической реальности, а не к священным текстам или традициям. Многие из моих героев-ученых – Галилео Галилей, Иоганн Кеплер, Исаак Ньютон, Майкл Фарадей, Джеймс Клерк Максвелл – были набожными христианами, представителями своего времени и своей среды. Они постигали и восславляли Бога, изучая Его творения. Взгляды Эйнштейна,

человека в общепринятом смысле нерелигиозного, были похожими. Он часто говорил о Боге (или «Старике», как он называл его) в шуточной форме. Известен, например, его афоризм: «Господь Бог коварен, но не зол». Истинный смысл работы этих ученых – как и моей работы при написании этой книги – выходит за рамки догм, как религиозных, так и антирелигиозных. Мне нравится формулировать это так: изучая устройство мира, мы изучаем, как и что творит Бог, и тем самым *узнаем, что Он есть*. А значит, в каком-то смысле наш поиск знаний – это поклонение, а наши открытия – откровения.

IV

Написание этой книги изменило мое восприятие мира. «Основы реальности» задумывалась как изложение фактов, но переросла в размышление о них. Когда я обобщал материал, передо мной неожиданно возникли две всеобъемлющие темы, ясность и глубина которых меня поразили.

Первая тема – изобилие. Мир большой. Конечно, достаточно взглянуть в ясное ночное небо, чтобы понять, как велико пространство «вне нас». Когда после более тщательного изучения мы отражаем это величие в числах, от их громадности наш мозг вскипает. Но безграничность Вселенной – лишь один из аспектов изобилия Природы, причем не самый важный для человечества.

Прежде всего, как выразился Ричард Фейнман, «внизу полным-полно места»². В каждом из нас гораздо больше атомов, чем звезд в видимой Вселенной, а наш мозг содержит примерно столько нейронов, сколько звезд в нашей Галактике. Вселенная внутри нас не менее велика, чем Вселенная вовне.

Это касается не только пространства, но и времени. Масштабы космического времени поражают. Время, прошедшее с момента Большого взрыва, несопоставимо больше продолжительности жизни человека. И все же – мы поговорим об этом дальше – за свое короткое существование человек переживает гораздо больше ярких осознанных моментов, чем промелькнуло в истории вселенной человеческих жизней. Нам даровано огромное внутреннее время.

Физический мир также изобилует до сих пор не освоенными ресурсами для созидания и познания. Наука выяснила, что вокруг нас этих ресурсов и энергии гораздо больше, чем мы сейчас используем во всех известных и доступных формах. Осознание этого должно придать нам уверенности и разбудить наши амбиции.

Наши не вооруженные приборами органы чувств позволяют воспринимать лишь часть той реальности, которую могут открыть нам научные исследования. Возьмем, например, зрение. Глаза – наш важнейший, самый информативный канал связи с внешним миром. Но сколько же всего они не замечают! Лишь телескопы и микроскопы открывают нам путь к огромному количеству информации, недоступной простому взгляду. Более того, наше зрение ограничено одной октавой – диапазоном видимого света – из всей бесконечной гаммы электромагнитного излучения: от радиоволн, СВЧ и инфракрасного излучения с одной стороны до ультрафиолета, рентгеновских лучей и гамма-лучей с другой. И даже в пределах этой октавы наше цветовое восприятие размыто. Но хотя от наших чувств и скрыты многие аспекты реальности, разум позволяет нам значительно расширять границы восприятия. И это преодоление природных ограничений – наше грандиозное, нескончаемое приключение.

² Отсылка к лекции Ричарда Фейнмана «Внизу полным-полно места: приглашение войти в новую область физики», прочитанной в Калтехе в 1959 году. Новая область физики – то, что сейчас называется нанотехнологией. Перевод лекции на русский язык см.: Российский химический журнал (Журнал Всесоюзного химического общества им. Д. И. Менделеева). 2002. Т. XLVI. № 5. *Прим. пер.*

V

Вторую тему книги я обозначу так: чтобы по-настоящему открыть физической Вселенной сердце, нужно «заново родиться». Когда я работал над текстом, родился мой внук Люк. И пока я писал черновик, я наблюдал за ним первые несколько месяцев его жизни. Я видел, как он, широко раскрыв глаза, рассматривает свои ручки и осознает, что сам ими управляет. Я видел удовольствие, с которым он учился хватать предметы. Я наблюдал его маленькие эксперименты: как он эти предметы ронял и искал их, как повторял это раз за разом, будто бы не очень уверенный в результате, как смеялся от радости, находя их. И я понял, что таким способом (и многими другими) Люк строил модель мира. Он делал это с ненасытным любопытством, ведь базовых представлений у него почти не было. Взаимодействуя с миром, он узнавал то, что почти все взрослые считают само собой разумеющимся. Например, что мир делится на «я» и «не-я», что с помощью мыслей можно управлять своими движениями, а чужими – нельзя, и что, рассматривая объекты, мы не меняем их свойства.

Младенцы похожи на маленьких ученых-экспериментаторов. Но их эксперименты, по меркам современной науки, довольно примитивны. Младенцы «работают» без телескопов, микроскопов, спектроскопов, магнитометров, ускорителей частиц, атомных часов и прочих инструментов, которые мы используем, строя наши самые правильные и точные модели мира. Их опыт ограничен небольшим диапазоном температур; они находятся в атмосфере с особым химическим составом и давлением; гравитация Земли тянет их (и все, что вокруг них) вниз, а поверхность Земли поддерживает их... и еще многое другое. Младенцы конструируют модель мира, которая объясняет то, что они испытывают *в границах возможностей их восприятия в заданном пространстве*. Для практических целей такое общение с миром необходимо: эти полезные уроки, усвоенные в детстве, помогут нам во взрослой жизни. Но современная наука дает понять, что физический мир сильно отличается от модели, которую мы строим в младенчестве.

Если мы снова откроем сердца, разбудим заснувшее любопытство и отбросим предубеждения – то есть позволим себе как бы родиться снова, – мы придем к другому пониманию мира. Мы должны научиться некоторым вещам. В основе мира лежит несколько ключевых строительных блоков, которые подчиняются строгим, но странным и незнакомым правилам. И чтобы разобраться в них, нам лучше отбросить кое-что из уже выученного.

Квантовая механика показывает, что мы не можем наблюдать объект, так или иначе не изменив его. Каждый из нас получает свои уникальные сообщения из внешнего мира. Представьте, что вы с другом сидите в темной комнате и смотрите на тусклую лампу. Сделайте свет очень, очень слабым, например накрыв лампу несколькими слоями ткани. В конце концов и вы, и ваш друг будете видеть только отдельные вспышки. Но вы увидите вспышки в разное время. Свет разбился на отдельные кванты, а квант нельзя разделить между вами. Уже на этом фундаментальном уровне мы можем ощущать себя в разных мирах.

Психофизика показывает, что сознание не руководит большинством действий, а обрабатывает отчеты о них. Отчеты приходят от «несознательных» областей мозга, которые выполняют эту работу. Используя технику, известную как транскраниальная магнитная стимуляция (ТМС)³, можно стимулировать двигательные центры левого или правого полушария в головном мозге испытуемого. Сигнал ТМС, правильно поданный в правый двигательный центр, вызовет подергивание левого запястья, а сигнал ТМС, правильно поданный в левый двигатель-

³ Транскраниальная магнитная стимуляция (ТМС, англ. Transcranial magnetic stimulation, TMS) – метод, позволяющий неинвазивно стимулировать кору головного мозга при помощи коротких магнитных импульсов. *Прим. ред.*

ный центр, вызовет подергивание правого запястья. Нейрофизиолог Альваро Паскуаль-Леоне⁴ использовал эту технику в простом и гениальном эксперименте, который позволяет сделать глубокие выводы. Он просил испытуемых после получения команды решить, хотят ли они подвигать правым или левым запястьем. Затем им давалось указание после получения дополнительной команды осуществить задуманное действие. В эксперименте использовался сканер мозга, поэтому можно было наблюдать, как двигательные области испытуемых подготавливают движение. Если испытуемый решал подвигать правым запястьем, его левая двигательная область активизировалась; если левым – активизировалась правая. Таким образом, выбор можно было предсказать до того, как испытуемый сделает какое-либо движение. А теперь важный момент. Время от времени Паскуаль-Леоне посылал сигнал ТМС, возбуждающий не тот центр, который соответствовал выбору испытуемого (и, как оказалось, отменяющий этот выбор). В этом случае человек подчинялся сигналу, а не своему изначальному выбору. Интересно то, как люди объясняли случившееся. Они *не говорили*, что ими руководила какая-то внешняя сила. Они говорили: «Я передумал(а)». Детальные исследования показывают, что наше тело и мозг – физическая основа нашего «я» – вопреки всякой интуиции построены из того же материала, что и «не-я», и неотрывны от него. Мы, как и младенцы, торопимся поскорее во всем разобраться и в результате приходим к неправильным выводам. На пути к более глубокому пониманию мира и себя нам придется многое отринуть, но и многому научиться.

VI

Рождаться заново непросто. Но, как и езда на американских горках, это очень захватывающе. И тех, кто готов почувствовать себя младенцем в науке, ждет награда: мир предстанет перед ними свежим, ясным и удивительно изобильным, таким, каким видел его Уильям Блейк:

В одном мгновенье видеть вечность,
Огромный мир – в зерне песка,
В единой горсти – бесконечность,
И небо – в чашечке цветка⁵.

⁴ Альваро Паскуаль-Леоне (р. 1961) – испано-американский профессор неврологии в Гарвардской медицинской школе, с которой он работает с 1997 года. *Прим. ред.*

⁵ Перевод С. Маршака. *Прим. ред.*

Введение

I

Вселенная – странное место, а новорожденному она представляется вовсе непонятной. Пытаясь разобраться в ней, малыш учится различать сообщения, поступающие из его внутреннего мира и извне. Внутренний мир включает как физические ощущения – голод, боль, удовлетворенность и желание поспать, – так и область подсознательного, в частности сновидения. К внутреннему миру младенца относятся и некоторые мысли, которые направляют его взгляд, подсказывают, что можно схватить, а немного позже – как говорить.

Построение модели внешнего мира – сложная умственная работа. Малыш тратит на нее много времени. Он учится распознавать устойчивые образы внешнего мира, которые, в отличие от его тела, не реагируют на мысли. Он формирует из этих образов объекты и постепенно понимает, что они ведут себя более-менее предсказуемым образом. В конце концов наш ребенок – уже не малыш – начинает распознавать в некоторых объектах существ, похожих на него, – тех, с кем он может общаться. Обменявшись информацией с этими существами, он убеждается, что у них тоже есть внутренний мир и, что примечательно, во внешнем мире все они взаимодействуют со множеством общих объектов. И эти объекты подчиняются одним и тем же правилам.

II

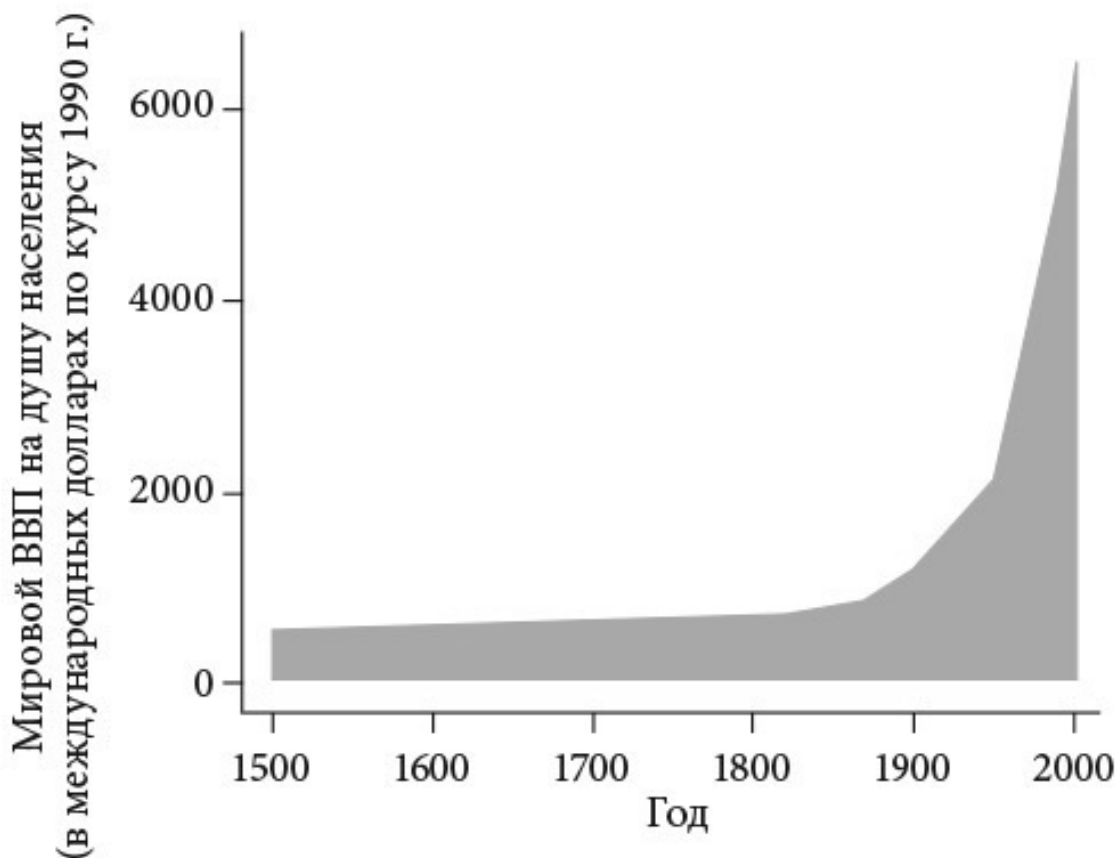
Научиться взаимодействовать с общим внешним – физическим – миром – безусловно, жизненно важно, и аспектов у такого навыка много. Например, чтобы преуспеть в обществе наших предков – охотников и собирателей, – ребенок должен был получить знания о том, где добыть воду, какие растения и каких животных можно есть, как всю эту еду найти, вырастить или поймать, а затем приготовить – и еще немало других вещей.

В более высокоорганизованных обществах возникли новые потребности: например, научиться делать специальные инструменты, строить прочные здания и следить за временем. Если находились удачные решения проблем, поставленных физическим миром, ими делились с другими, их передавали из поколения в поколение. Так в каждом обществе закладывались основы технологий.

Сложные технологии могли появиться даже в обществах, не подкованных в науке. Некоторые из этих технологий позволили – и все еще позволяют – людям вполне комфортно выживать в сложных условиях, таких как Арктика или пустыня Калахари. В других обществах делался упор на строительство больших городов и грандиозных памятников наподобие египетских и мезоамериканских пирамид. Тем не менее на протяжении почти всей истории человечества технологии развивались стихийно. Удачные технические решения находились более-менее случайно, и если такое происходило, то их передавали в виде своеобразных ритуалов и традиций. Обычно попытки логически их осмыслить не делались, систематические усилия что-либо усовершенствовать не предпринимались.

Такие прикладные технологии позволяли людям выживать, растить детей, не бедствовать и иногда даже отдыхать. Веками для большинства цивилизаций этого было достаточно. У наших предков не имелось возможности узнать, чего они лишены, или понять, что упускаемое может быть важно. Но теперь мы знаем, что им не хватало многого. Этот рисунок, демонстри-

рующий рост производительности труда со временем, говорит сам за себя – красноречивее всяких слов.



III

Современный подход к пониманию мира зародился в Европе в XVII веке. Отдельные озарения бывали и раньше, и в других частях света, но именно череда прорывов, получившая название научной революции, показала нам, чего может достигнуть человеческий разум, если творчески займется изучением физического мира. Методы и подходы, которые привели к этим прорывам, стали образцами в будущих исследованиях. Так началась наука, которую мы знаем. И она всегда стремилась вперед.

В XVII веке гигантский теоретический и технический прогресс затронул многие области, в том числе конструирование механизмов и кораблей, оптических приборов (включая микроскопы и телескопы), часов и календарей. Люди смогли получать больше энергии, видеть больше и дальше, лучше справляться со своими задачами. Но по-настоящему уникальной и в полной мере заслуживающей свое название научную революцию делает гораздо менее материальная вещь. Изменилось само представление человека о мире: у людей появились новые замыслы, новая уверенность в своих силах.

Метод Кеплера, Галилея и Ньютона сочетает требование учиться у природы и почтительно относиться к фактам. Он также призывает смело и дерзко использовать то, что, как вам кажется, вы узнали и поняли, всюду, где только можно, даже в ситуациях, выходящих далеко за рамки вашего опыта. Если это срабатывает, значит, вы обнаружили что-то полезное. Если нет, вы узнали что-то важное. Я назвал такой подход радикальным консерватизмом, и для меня это важнейшая новаторская идея научной революции.

Радикальный консерватизм консервативен, потому что требует учиться у природы и уважать факты – это ключевые правила любого научного метода. Но он же радикален, потому что велит применять все, что вы узнали, везде, где это стоит попробовать. Это не менее важная грань науки. И это позволяет ей всегда идти вперед.

IV

К формированию нового подхода привело прежде всего развитие небесной механики – дисциплины, описывающей движение объектов на небесном своде. Уже к XVII веку она была хорошо развита.

Задолго до возникновения письменной истории люди установили многие закономерности – чередование ночей и дней, времен года, фаз Луны, – а также изучили регулярное перемещение звезд. С развитием сельского хозяйства стало важно следить за сменой сезонов, чтобы сажать и собирать урожай в наиболее подходящее время. Еще одну мощную, хотя и ошибочную, мотивацию для точных наблюдений за небесными светилами обеспечила астрология – вера в то, что человеческая жизнь напрямую связана с космическими ритмами. В любом случае по тем или иным причинам, а нередко и просто из любопытства, люди внимательно изучали небо.

Выяснилось, что подавляющее большинство звезд движется довольно простым и предсказуемым образом. Сегодня мы интерпретируем это кажущееся движение как результат вращения Земли вокруг своей оси. «Неподвижные звезды» находятся так далеко от нас, что относительно небольшие их смещения либо из-за собственного движения, либо из-за движения Земли вокруг Солнца невидимы без приборов. Но есть исключения: Солнце, Луна и несколько «странников» (*планет*) – включая видимые невооруженным глазом Меркурий, Венеру, Марс, Юпитер и Сатурн – ведут себя иначе.

Древние астрономы веками записывали положение этих особых объектов и в конце концов научились предсказывать его изменения достаточно точно. Эта задача требовала геометрических и тригонометрических расчетов по сложным, но четко определенным инструкциям. Птолемей (ок. 100–170) обобщил все эти сведения и создал на их основе математический текст, получивший название «Альмагест». (*Magest* – греческое слово, означающее «величайший». *Аль* – определенный артикль в арабском языке.) Этот труд был огромным достижением, но имел два недостатка. Во-первых, сложность правил расчета и, как следствие, их громоздкость. В частности, формулы, которые Птолемей использовал для расчета движения планет, содержали множество параметров, определявшихся из сопоставления вычислений с наблюдениями, а не из глубоких физических законов. Коперник (1473–1543) заметил, что значения некоторых параметров связаны друг с другом удивительно простыми соотношениями. Эти на первый взгляд загадочные, «случайные» соотношения можно было объяснить геометрически, если предположить, что Земля, как и Венера, Марс, Юпитер и Сатурн, вращается по орбите вокруг ее центра – Солнца, а Луна еще и вращается вокруг Земли.

Второй недостаток труда Птолемея более очевиден: приведенные данные были неточными. Тихо Браге (1546–1601), предвосхищая наступление сегодняшней эпохи Большой науки⁶, разработал сложные инструменты и потратил много денег на строительство обсерватории, что позволило наблюдать положения планет с гораздо большей точностью. Новые наблюдения выявили явные отклонения от предсказаний Птолемея.

⁶ Этим термином называют изменения, произошедшие в организации науки в индустриальных странах во время и после Второй мировой войны. Большая наука характеризуется большими проектами, требующими больших инвестиций (от государства или группы государств) и создания больших коллективов ученых из разных стран. *Прим. пер.*

Иоганн Кеплер (1571–1630) задался целью создать геометрическую модель движения планет, которая была бы и простой, и точной. Он использовал идеи Коперника и внес другие важные технические поправки в модель Птолемея. В частности, он заменил форму орбит, по которым планеты движутся вокруг Солнца, с простого круга на эллипс⁷. Кеплер также предположил, что скорость движения планет вокруг Солнца не является постоянной: чем дальше от Солнца по эллиптической орбите, тем медленнее движение, чем ближе к Солнцу – тем быстрее движется планета⁸. Новая, более простая модель работала значительно лучше.

А мы тем временем вновь обратим взор на поверхность Земли, где Галилео Галилей (1564–1642) тщательно исследовал простые формы движения, такие как качение шаров по наклонной плоскости и колебание маятников. Такие простые исследования, в которых численные интервалы времени сравнивались с пройденными за это время расстояниями, казалось бы, совершенно не связаны с серьезными вопросами о том, как устроен мир. И безусловно, большинству современников Галилея, размышлявших над важнейшими вопросами философии, эти проблемы виделись тривиальными. Но Галилей стремился к иному уровню понимания. Он хотел *нечто конкретное* понять точно, а не *все* приблизительно. Он искал – и вывел – математические формулы, которые всесторонне описывали его скромные наблюдения.

Исаак Ньютон (1643–1727) свел воедино геометрию Кеплера, теорию движения планет и динамическое описание движения земных объектов, сделанное Галилеем. Он продемонстрировал, что и теорию движения планет Кеплера, и теорию Галилея для специальных случаев движения лучше всего считать частными проявлениями общих законов – законов, применимых ко всем телам, везде и всегда. Теория Ньютона, которую мы теперь называем классической механикой, стала триумфом: она в том числе объяснила приливы на Земле, предсказала траектории комет и расширила возможности инженерии.

Работа Ньютона убедительно доказывает, что можно решать грандиозные задачи, опираясь на скрупулезный анализ простых случаев. Ньютон назвал это методом *анализа и синтеза* и заложил основы научного радикального консерватизма.

Вот что сказал сам Ньютон об этом методе:

Как в математике, так и при испытании природы, при исследовании трудных вопросов аналитический метод должен предшествовать синтетическому. Этот анализ заключается в том, что из экспериментов и наблюдений посредством индукции выводят общие заключения... Этим путем анализа мы можем перейти от целого к его составляющим, а от движений – к силам, их производящим; и вообще от результатов к их причинам, от частных причин к более общим, пока аргумент не придет к самой общей причине. Это метод анализа, а синтез состоит в том, что считается, будто причины обнаружены и утверждены в качестве принципов и посредством их объясняются явления, вызываемые ими, и обосновываются объяснения⁹.

⁷ Это положение сформулировано в виде первого закона Кеплера: каждая планета Солнечной системы обращается по эллипсу, в одном из фокусов которого находится Солнце. *Прим. ред.*

⁸ Это положение нашло отражение во втором законе Кеплера: каждая планета движется в плоскости, проходящей через центр Солнца, причем за равные промежутки времени радиус-вектор, соединяющий Солнце и планету, описывает собой равные площади. *Прим. ред.*

⁹ Ньютон И. Оптика, или Трактат об отражениях, преломлениях, изгибаниях и цветах света / пер. с 3-го англ. изд. 1721 г. с прим. С. И. Вавилова. 2-е изд., просм. Г. С. Ландсбергом. М.: Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1954. *Прим. ред.*

V

Перед тем как покинуть Ньютона, уместно добавить еще одну его цитату, отражающую его духовное родство с Галилеем и Кеплером, а также со всеми нами, идущими по их стопам:

Объяснить всю природу – слишком сложная задача для любого человека или даже для одного века. Гораздо лучше сделать немного, но достоверно, а остальное оставить тем, кто придет за вами¹⁰.

Более свежая цитата из Джона Робинсона Пирса – пионера современной информатики – прекрасно отражает контраст между современной концепцией научного понимания и всеми другими подходами:

Мы требуем, чтобы наши теории в деталях согласовывались с очень широким кругом явлений, которые они пытаются объяснить. И мы настаиваем на том, чтобы они давали нам полезные советы, а не разумное объяснение¹¹.

Как прекрасно понимал Пирс, за этот завышенный стандарт мы должны заплатить немалую цену: отказаться от простоты. «Мы никогда больше не будем понимать природу так же хорошо, как греческие философы. Мы знаем слишком много». Мне кажется, эта цена не слишком высока. В любом случае пути назад нет.

¹⁰ Ньютон И. Оптика, или Трактат об отражениях, преломлениях, изгибаниях и цветах света / пер. с 3-го англ. изд. 1721 г. с прим. С. И. Вавилова. 2-е изд., просм. Г. С. Ландсбергом. М.: Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1954. Цит. по: Wellfast R. S. Never at Rest: A Biography of Isaac Newton. Cambridge University Press, 1983. P. 643. *Прим. ред.*

¹¹ Pierce J. R. An Introduction to Information Theory: Symbols, Signals & Noise (Dover Books on Mathematics). New York, 1980. *Прим. ред.*

Часть I. Чем изобилен мир?

Глава 1. Здесь много пространства

МНОГО СНАРУЖИ И МНОГО ВНУТРИ

Когда мы говорим, что нечто – большое (будь то видимая Вселенная или человеческий мозг), следует спросить: «По сравнению с чем?» Этот поиск аналогий естественен и связан с нашей повседневной жизнью. Именно так мы в детстве создаем свои первые модели физического мира. Его границы, установленные наукой, – то, что мы открываем, когда позволяем себе родиться заново¹².

В контексте повседневной жизни понятие «снаружи» поистине обширно. Мы интуитивно ощущаем масштаб этого *снаружи*, когда ясной ночью смотрим в усыпанное звездами небо. Даже без обстоятельного анализа ясно, что во Вселенной есть расстояния, несравнимо большие, чем размер человеческого тела, и существенно превышающие те, которые нам когда-либо удастся преодолеть. Научные представления не только подтверждают это, но и существенно усиливают ощущение необъятности.

Масштаб мира может подавлять нас. Например, он угнетал французского математика, физика и религиозного философа Блеза Паскаля (1623–1662), писавшего: «...Вселенная захватывает меня и поглощает, как соринку». Подобные мысли – условно говоря, «Я *очень* мал, для Вселенной я ничто» – красной нитью проходят через литературу, философию и теологию. Они слышатся во многих молитвах и псалмах. И такие ощущения естественны для человека, судящего о своей значимости по собственному размеру.

Хорошая новость: размер – это еще не всё. То, что у нас *внутри*, менее масштабно, зато столь же содержательно. Мы приходим к этому, когда смотрим на вещи с другого ракурса. Места внизу много. Во всем, что в самом деле имеет значение, мы более чем велики.

Еще в начальной школе мы узнаём, что основная структурная единица всего на свете – атомы и молекулы. В таких единицах наше тело огромно. Число атомов, из которых состоит тело одного человека, примерно равно 10^{28} , а это единица, за которой следует 28 нулей: $10^{28} = 10\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000$.

Подобное число далеко за пределами того, что мы можем себе представить. Его можно назвать «десять октиллионов» – и, чуть подучившись и попрактиковавшись, можно научиться делать с ним вычисления. Но обычный разум с подобными числами не справляется: нам никогда не представлялась возможность оперировать ими в повседневности. Визуализация такого количества отдельных точек существенно превосходит вместимость нашего мозга.

В ясную безлунную ночь число звезд, которые видны на небе, не превышает нескольких тысяч. А десять октиллионов – это примерно в миллион раз больше, чем число звезд во всей видимой Вселенной. В этом, очень конкретном, смысле внутри нас помещается целая вселенная.

Вдохновенный американский поэт Уолт Уитмен (1819–1892) интуитивно ощущал нашу внутреннюю огромность. В стихотворении «Песнь о себе» он писал: «Я широк, я вмещаю в

¹² В английском тексте употреблено выражение *to be born again* – библейский термин «рождение свыше» – воскресение духовно мертвого человека для новой жизни с Богом. *Прим. пер.*

себе множество разных людей»¹³. И это радостное прославление изобилия столь же основано на объективных фактах, сколь и космическая зависть Паскаля, но она гораздо больше соотносится с нашим практическим опытом.

Мир велик, но и мы не ничтожны. Правильнее сказать – пространства много, независимо от того, движемся ли мы по шкале размеров вверх или вниз. Незачем завидовать Вселенной только из-за ее масштабов. Мы тоже большие. В частности, мы достаточно большие для того, чтобы наш разум мог вместить всю внешнюю Вселенную. Паскаль это понимал: пожаловавшись на то, что «Вселенная захватывает меня и поглощает, как соринку», он находит утешение в том, что «с помощью мысли я постигаю ее».

Изобилие пространства, его и внешняя, и внутренняя огромность – основная тема этой главы. Бесспорно подтвержденные факты мы рассмотрим подробнее, а затем рискнем продвинуться чуть дальше.

ВНЕШНЕЕ «МНОГО»: ЧТО МЫ ЗНАЕМ И ОТКУДА МЫ ЭТО ЗНАЕМ

Прелюдия: геометрия и реальность

В основе научного разговора о космических расстояниях лежит наше представление о физическом пространстве и о том, как измерять расстояния, то есть геометрия. Именно поэтому мы начнем со связи между геометрией и реальностью.

Непосредственный каждодневный опыт учит нас тому, что объекты, не меняя свойств, могут перемещаться в пространстве. Это наводит на мысль о том, что «пространство» – в некотором смысле хранилище, куда складывает объекты природа.

Развитие таких сфер, как землеустройство, архитектура и навигация, заставили людей измерять расстояния и углы между соседними объектами. Так они выявили закономерности, нашедшие свое отражение в геометрии Евклида.

Хотя со временем практическая деятельность человека становилась все сложнее и обширнее, эта концепция – геометрия Евклида – держалась удивительным образом. Она была столь логична, ее структура была столь стройна, что мало кто пытался проверить правомерность использования этой геометрии для описания физической реальности. Но в начале девятнадцатого столетия один из величайших математиков Карл Фридрих Гаусс (1777–1855) решил устроить такую проверку в реальных условиях. Он измерил углы треугольника, вершинами которого были три стоящие далеко друг от друга высокогорные станции в Германии, и показал, что в соответствии с предсказаниями Евклида их сумма с экспериментальной точностью равна 180° . Работа современной системы глобального позиционирования (GPS) основывается на геометрии Евклида. Каждый день GPS проводит миллионы экспериментов, сходных с экспериментом Гаусса, но в гораздо больших масштабах и с гораздо большей точностью. Посмотрим, как она работает.

Чтобы с помощью GPS выяснить свое местоположение, вы устанавливаете связь с системой передающих сигналы искусственных спутников. Они расположены высоко над Землей и знают свои координаты. (Мы потом расскажем, как это происходит.) Сегодня больше тридцати таких спутников летают по определенным орбитам вокруг земного шара. Их радиосигналы не преобразуются в речь или музыку. Вместо этого в цифровом, приспособленном специально для компьютеров формате спутники посылают простые сообщения о том, где находятся. Эти сообщения включают дату и время отправки (на борту каждого спутника имеются точные атомные часы). Затем происходит следующее.

¹³ Перевод К. И. Чуковского. *Прим. пер.*

1. Ваш GPS-приемник перехватывает сигналы некоторых спутников. Это устройство, имеющее еще и доступ к разветвленной сети наземных часов, вычисляет время, которое потребовалось для поступления сигналов от разных спутников. Поскольку сигналы распространяются с известной скоростью (скоростью света), время передачи каждого из них можно использовать для определения расстояния до спутника.

2. Используя эти расстояния, координаты спутников и геометрию Евклида, компьютер с помощью триангуляции (разбиения на треугольники) однозначно определяет положение приемника – то есть ваше.

3. Компьютер сообщает результат, и вы узнаете, где находитесь.

В системе GPS много дополнительных особенностей и возможностей, но основные принципы действия таковы, как описано выше. И они поразительно напоминают мысленный эксперимент Альберта Эйнштейна с системами отсчета, изложенный в его работе по специальной теории относительности. В 1905 году Эйнштейн предложил использовать световые лучи и время их прохождения для определения местоположения. Эйнштейна привлекла эта идея, потому что она опиралась на фундаментальный принцип физики – фиксированную скорость света – для выяснения местоположения предметов в пространстве. Современные технологии позволили реализовать этот мысленный эксперимент на практике.

Потренируйте воображение: представьте, что для определения вашего местоположения достаточно знать расстояния от вас до четырех спутников, координаты каждого из которых известны. Подсказка: точки, расположенные на заданном расстоянии от спутника, лежат на сфере, центром которой он является. Если взять две сферы с разными спутниками-центрами, они, возможно, пересекутся по окружности. Поскольку вы находитесь где-то на пересечении, они обязаны это сделать! Теперь рассмотрите, в каких двух точках пересекается с ними третья сфера. И наконец, сфера, относящаяся к четвертому спутнику, захватит одну из этих точек.

Теперь вернемся к вопросу, откуда спутники GPS знают, где *они* находятся. Технические детали сложны, но основная идея проста: спутники стартуют из известных точек, а затем отслеживают свое движение. Исходя из этой информации, они рассчитывают свое местоположение.

Более подробно: спутники мониторят свое движение с помощью бортовых гироскопов и акселерометров наподобие тех, которые установлены на вашем iPhone. Исходя из данных этих приборов, компьютер спутника с помощью законов механики Ньютона определяет свое ускорение, а математический анализ позволяет рассчитать, куда спутник переместился. Фактически именно для решения подобных задач Ньютон и изобрел математический анализ.

Если вернуться к сказанному выше, ясно, что разработчики спутниковой навигационной системы основывались на большом числе неочевидных предположений – например, о постоянстве скорости света. Точное время определяется по атомным часам, устройство и интерпретация данных которых основаны на последних результатах квантовой теории. По этим данным положение спутника рассчитывается методами классической механики. А еще вводится поправка на слабую зависимость скорости хода часов от их вращения вокруг Земли. Этот эффект предсказывает общая теория относительности: вблизи Земли, где гравитационное поле сильнее, ход часов замедляется.

В основе спутниковой навигационной системы лежит не только геометрия Евклида. Система GPS устроена очень сложно, так что с ее помощью мы проверяем множество других концепций.

Своим успехом GPS обязана целому набору взаимосвязанных предположений. Любое из них может быть неправильным или, выражаясь более дипломатично, приблизительно правильным. Если бы одно из этих предположений было существенно ошибочным, результаты работы GPS оказались бы несовместимыми, например на разных спутниках расчет координат

на основе триангуляции давал бы разные результаты. Сложности при использовании технологии часто могут выявить скрытые недостатки.

Верно и обратное: успех GPS укрепляет нашу уверенность в справедливости *всех* лежащих в ее основе предположений, включая то, что в земных масштабах геометрия Евклида с достаточной точностью описывает реальную геометрию. И до сих пор GPS работает безупречно.

Если брать шире – наука развивается. Хитросплетение взаимозависимых теорий лежит в основе самых невероятных современных экспериментов и технологий. Доказав свою эффективность, новые смелые разработки укрепляют доверие к вспомогательной базе. Фундаментальные концепции представляют собой клубок взаимно усиливающих друг друга идей – и это еще одна сквозная тема книги.

Заканчивая прелюдию, я должен сделать оговорку. Когда мы рассматриваем пространство огромных космических масштабов, или нам требуется невероятная точность, или мы приближаемся к черным дырам, геометрия Евклида уже не подходит для описания реальности. Альберт Эйнштейн в работах по специальной и общей теории относительности (за 1905 и 1915 годы соответственно) продемонстрировал несостоятельность этой геометрии и показал, как можно выйти за ее рамки. С тех пор большое число экспериментов подтвердило его теоретические построения.

Специальная теория относительности Эйнштейна учит: когда мы измеряем расстояние, необходимо вдуматься и понять, что мы измеряем и как. Реальные измерения занимают какое-то время, а предметы могут перемещаться. На самом деле мы можем измерять интервалы между *событиями*. События локализованы как в пространстве, так и во времени. Геометрия событий должна строиться не просто в пространстве, а в системе координат большей размерности – в пространстве-времени. Далее общая теория относительности устанавливает, что геометрия пространства-времени может искажаться благодаря влиянию материи или распространяющихся в нем волн искажения. (Подробнее об этом мы поговорим в [главе 4](#) и [главе 8](#).)

В рамках более общей концепции пространства-времени и общей теории относительности геометрия Евклида довольно приближительна. И все же она достаточно точна, чтобы ее можно было использовать на практике, о чем и говорилось выше. Геометрию Евклида предпочитают геодезисты, архитекторы и разработчики космических программ: она легче, и для работы ее пока достаточно. Хотя более продвинутые теории и точнее, пользоваться ими гораздо труднее.

Однако геометрия Евклида не дает нам законченную, полную модель реальности. Это не отменяет ее математическую стройность и не обесценивает ее многочисленные достижения, но подтверждает мудрость принципиально консервативного подхода Гаусса к проверке фактов. Вопрос отношений между геометрией и реальностью лежит в компетенции природы.

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.