

Достучаться до небес

Лиза Рэндалл

Knocking on Heaven's Door

HOW PHYSICS AND SCIENTIFIC
THINKING ILLUMINATE THE UNIVERSE
AND THE MODERN WORLD

Lisa Randall



THE BODLEY HEAD
LONDON

Достучаться до небес

НАУЧНЫЙ ВЗГЛЯД
НА УСТРОЙСТВО ВСЕЛЕННОЙ

Лиза Рэндалл

Перевод с английского



Династия

АНФ

Москва

2014

УДК 539.1:001.8

ББК 22.38

Р96

Переводчик Наталья Лисова

Научные консультанты

Михаил Ревнивцев, д. ф.-м. н.

Дмитрий Горбунов, к. ф.-м. н.

Редактор Юлия Быстрова

Рэндалл Л.

Р96 Достучаться до небес: Научный взгляд на устройство Вселенной / Лиза Рэндалл; Пер. с англ. — М.: Альпина нон-фикшн, 2014. — 518 с.

ISBN 978-5-91671-264-3

Человечество стоит на пороге нового понимания мира и своего места во Вселенной — считает авторитетный американский ученый, профессор физики Гарвардского университета Лиза Рэндалл, и приглашает нас в увлекательное путешествие по просторам истории научных открытий. Особое место в книге отведено новейшим и самым значимым разработкам в физике элементарных частиц; обстоятельствам создания и принципам действия Большого адронного коллайдера, к которому приковано внимание всего мира; дискуссии между конкурирующими точками зрения на место человека в универсуме. Содержательный и вместе с тем доходчивый рассказ знакомит читателя со свежими научными идеями и достижениями, шаг за шагом приближающими человека к пониманию устройства мироздания.

УДК 539.1:001.8

ББК 22.38

Издание подготовлено при поддержке

Фонда Дмитрия Зимина «Династия»



Династия

Фонд некоммерческих программ «Династия» основан в 2002 г. Дмитрием Борисовичем Зиминным, почетным президентом компании «Вымпелком». Приоритетные направления деятельности Фонда — поддержка фундаментальной науки и образования в России, популяризация науки и просвещение. В рамках программы по популяризации науки Фондом запущено несколько проектов. В их числе — сайт elementy.ru, ставший одним из ведущих в русскоязычном Интернете тематических ресурсов, а также проект «Библиотека «Династия» — издание современных научно-популярных книг, тщательно отобранных экспертами-учеными. Книга, которую вы держите в руках, выпущена в рамках этого проекта. Более подробную информацию о Фонде «Династия» вы найдете по адресу www.dynastyfdn.ru.

Все права защищены. Никакая часть этой книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме и какими бы то ни было средствами, включая размещение в сети Интернет и в корпоративных сетях, а также запись в память ЭВМ для частного или публичного использования, без письменного разрешения владельца авторских прав. По вопросу организации доступа к электронной библиотеке издательства обращайтесь по адресу lib@alpinabook.ru.

© Lisa Randall, 2011

© Издание на русском языке, перевод, оформление. ООО «Альпина нон-фикшн», 2014

ISBN 978-5-91671-264-3 (рус.)

ISBN 978-0-06-172372-8 (англ.)

ОГЛАВЛЕНИЕ

<i>Введение</i>		7
-----------------	--	---

Часть I

МАСШТАБИРОВАНИЕ РЕАЛЬНОСТИ

Глава 1	Тебе — мало, мне — в самый раз	23
Глава 2	Раскрывая секреты	50
Глава 3	Жизнь в материальном мире	66
Глава 4	В поисках ответов	88

Часть II

МАСШТАБИРОВАНИЕ ВЕЩЕСТВА

Глава 5	Волшебная экскурсия в глубь материи	101
Глава 6	«Видеть» — значит верить	130
Глава 7	На краю Вселенной	152

Часть III

АППАРАТУРА, ИЗМЕРЕНИЯ И ВЕРОЯТНОСТИ

Глава 8	Одно кольцо, чтобы править всем...	169
Глава 9	Возвращение кольца	188
Глава 10	О черных дырах, которые поглотят весь мир	214
Глава 11	Рискованное дело	228
Глава 12	Измерение и неопределенность	255
Глава 13	Эксперименты CMS и ATLAS	271
Глава 14	Как распознать частицы	302

Часть IV

МОДЕЛИ, ПРЕДСКАЗАНИЯ И ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Глава 15	Истина, красота и другие научные заблуждения	323
Глава 16	Бозон Хиггса	342
Глава 17	Вакантное место топ-модели	370
Глава 18	Снизу вверх или сверху вниз?	407

Часть V

МАСШТАБИРОВАНИЕ ВСЕЛЕННОЙ

Глава 19	Вселенная наизнанку	423
Глава 20	Что велико для тебя, мало для меня	440
Глава 21	Гости с темной стороны	460

Часть VI

ПОДВЕДЕМ ИТОГИ

Глава 22	Думать глобально, действовать локально	483
<i>Заключение</i>		499
<i>Благодарности</i>		506

ВВЕДЕНИЕ

Мир стоит на пороге великих открытий. Сегодня проводятся самые масштабные и интересные в истории эксперименты в области физики элементарных частиц и космологии, и самые талантливые физики и астрономы мира объединяют усилия для анализа их результатов. Возможно, в ближайшее десятилетие ученые обнаружат то, что изменит наши представления о фундаментальном строении вещества и структуре самого пространства; не исключено даже, что наши представления о природе реальности станут более полными. Ученые, которые вплотную занимаются этими вопросами, уверены, что новые факты не просто дополняют уже имеющиеся. Мы с нетерпением ждем открытий, которые приведут к зарождению принципиально новой парадигмы структуры Вселенной и изменят представление об ее устройстве, сложившееся на основании прошлых открытий.

10 сентября 2008 г. произошло историческое событие — первый пробный пуск Большого адронного коллайдера (БАК), на который все мы возлагаем большие надежды. Слово «большой» в названии относится не к адронам, а к самому коллайдеру. Основа БАКа — громадный кольцевой туннель длиной 26,6 км*, расположенный между горами Юра и Женевским озером и дважды пересекающий франко-швейцарскую границу. Электрические поля внутри этого туннеля разгоняют два пучка частиц, в каждом из которых движутся миллиарды протонов (протоны принадлежат к классу элементарных частиц, известных как адроны, поэтому коллайдер — адронный); частицы носятся по окружности, делая за одну секунду примерно 11 000 оборотов.

Коллайдер служит площадкой для крупнейших экспериментов из тех, какие когда-либо ставились на Земле. Цель ученых — про-

* Я буду часто использовать приближенное значение 27 км. — *Прим. авт.*

вести детальные исследования структуры материи на невозможных доселе расстояниях и при более высоких энергиях, чем когда-либо прежде. При таких энергиях должен возникнуть целый ряд необычных элементарных частиц; кроме того, предположительно должны возникнуть взаимодействия, имевшие место при рождении Вселенной — примерно через одну триллионную долю секунды после Большого взрыва.

При проектировании Большого адронного коллайдера пришлось задействовать всю изобретательность ученых и инженеров и все возможности современной техники; его строительство также оказалось сложнейшей задачей. К огромному разочарованию ученых и сочувствующих, всего через девять дней после первого успешного пуска в коллайдере из-за некачественной пайки в одном из контактов произошла авария. Однако осенью 2009 г. БАК вернулся в строй и заработал даже лучше, чем кто-либо надеялся. Так многолетние ожидания стали реальностью.

Весной того же года с космодрома во Французской Гвиане были запущены научно-исследовательские космические аппараты — крупнейший космический телескоп *Herschel* и космическая обсерватория *Planck*. Я узнала об этом от группы радостно возбужденных астрономов Калифорнийского технологического института. Они встречали 13 мая в 5:30 утра в Пасадене, а я гостила там, чтобы удаленно наблюдать за эпохальным пуском. Миссия *Herschel* — прояснить процессы формирования и эволюции звезд и галактик, а *Planck* — передать на Землю подробные данные об остаточном излучении, сохранившемся после Большого взрыва, что позволит больше узнать о начальном периоде эволюции нашей Вселенной. Надо сказать, что космический запуск всегда вызывает радость и тревогу одновременно — ведь от 2 до 5% их заканчиваются неудачей, и тогда пропадают годы работы над специализированным научным оборудованием спутника, который вместе с ракетой падает обратно на Землю. К счастью, этот пуск прошел успешно, и весь день приходила информация о благополучном ходе полета. Тем не менее пройдет еще не один год, прежде чем *Herschel* и *Planck* передадут нам ценнейшую информацию о звездах и Вселенной.

На сегодняшний момент физика дает прочную базу для наших знаний о том, как функционирует Вселенная на самых разных пространственных масштабах и при самых разных энергиях. Теоретические и экспериментальные исследования позволили ученым глубоко понять элементы и структуры — от самых крошечных до громадных. Со временем нам удалось восстановить подробную и непротиворечивую картину того, как из отдельных кусочков складывается целое. Физические теории описывают, как развивался космос: из крошечных составляющих сформировались атомы, которые в свою очередь слились в звезды, а те — образовали галактики и более крупные структуры, разбросанные по Вселенной. Затем некоторые звезды взорвались и породили тяжелые элементы, которые попали в нашу Галактику и в Солнечную систему, — без них в конечном итоге не возникла бы жизнь. На базе надежных и обширных сведений, полученных при помощи БАКа и космических аппаратов, физики надеются расширить наши представления об окружающем мире и достигнуть большей точности, чем когда-либо прежде. Это рискованная и амбициозная затея.

Вероятно, вам доводилось слышать четкое и на первый взгляд точное определение науки, противопоставляющее ее всевозможным системам верований, таким как религия. Однако реальная история развития науки далеко не проста. Нам, безусловно, нравится думать — по крайней мере сама я поначалу думала именно так, — что наука достоверно отражает реальность и правила, которым подчиняется физический мир. Но актуальные исследования почти неизбежно проходят в ситуации неопределенности, когда мы надеемся, что продвигаемся вперед, но не до конца в этом уверены. Чтобы достойно ответить на вызовы, ученый должен рождать перспективные идеи и при этом всегда сомневаться в них, проверять истинность их самих и вытекающих из них следствий. Научные исследования неизбежно балансируют на грани сложных, иногда противоречивых или конкурирующих, но, как правило, чрезвычайно интересных идей. Задача ученых — расширять пределы челове-

ческих знаний. Но, когда жонглирование данными, концепциями и уравнениями только начинается, их интерпретация часто остается неясной — причем для всех, включая и самих ученых.

Мои исследования сосредоточены на теории элементарных частиц (самых маленьких из известных нам объектов), но иногда затрагивают и теорию струн, и космологию (самые крупные объекты). Мы с коллегами пытаемся понять, что лежит в основе материи, что находится там, далеко во Вселенной, и как связаны между собой все фундаментальные величины и свойства, обнаруженные экспериментальным путем. Физики-теоретики не проводят настоящих экспериментов, цель которых — определить, какие из имеющихся теорий применимы в реальном мире. Вместо этого мы пытаемся предсказывать возможные выводы из того, что могут дать эксперименты, и разрабатываем новые способы проверки идей. Ответы на вопросы, которые мы пытаемся отыскать, вряд ли изменят в ближайшем будущем нашу повседневную жизнь. Но в итоге они, возможно, помогут нам понять, кто мы и откуда взялись.

Эта книга — о наших исследованиях и важнейших научных вопросах, стоящих перед человечеством. Новые открытия в физике частиц и космологии способны радикально изменить наши представления о мире: о его устройстве, эволюции и силах, им управляющих. В книге рассказывается об экспериментальных исследованиях на базе Большого адронного коллайдера и о теоретических работах, в которых ученые выступают как провидцы. В ней говорится также о космологических исследованиях — о том, как человек пытается проникнуть в суть Вселенной, особенно так называемой «темной» материи.

Но это еще не все. Здесь рассматриваются и более общие вопросы, свойственные любым научным поискам. Наряду с описанием исследований, идущих в авангарде современной науки, я пытаюсь прояснить для читателя природу науки. Вы узнаете, как ученые решают, какие именно вопросы перед собой ставить, почему они не всегда могут договориться даже об этом и как верные научные идеи в конце концов побеждают. Я рассказываю, какими путями развивается наука и чем она принципиально отличается от иных способов поиска истины, стараюсь раскрыть философские основы

науки и описать промежуточные этапы, когда еще неясно, чем закончится дело и кто окажется прав. Кроме того — и это не менее важно, — книга показывает, как научные идеи и методы применяются вне науки и способствуют более разумному принятию решений во всех сферах жизни.

Эта книга предназначена для всех, кто хотел бы получить лучшее представление о текущем состоянии теоретической и экспериментальной физики, а также о природе современной науки и принципах здоровой научной мысли. Люди часто не понимают, что такое наука и что человечество может узнать с ее помощью. И книга — моя попытка развенчать некоторые неверные представления и, возможно, выразить собственное раздражение от того, как сейчас понимают и применяют науку.

Несколько последних лет подарили мне уникальные впечатления и беседы, которые многому меня научили, и мне хотелось бы поделиться ими. Я не являюсь специалистом во всех областях, которые затрагиваю, да и рассмотреть их здесь сколько-нибудь подробно невозможно. Но все же я надеюсь, что эта книга поможет читателю распознать самые надежные источники научной информации — или дезинформации, — что, безусловно, пригодится в будущем при самостоятельном поиске ответов. Некоторые мои соображения могут показаться очевидными, но более полное представление о том, как устроена современная наука, поможет лучше разобраться и в текущих исследованиях, и в проблемах, с которыми сталкивается в наши дни человечество.

Сегодня, в эпоху приквелов, вряд ли кого-то удивит, что в этой работе содержится как бы предыстория сюжета моей предыдущей книги «Закрученные пассажи»* и одновременно — информация о том, как обстоят дела в сегодня и чего мы ждем в будущем. Она заполняет пробелы — описывает научную базу новых идей и открытий — и объясняет, почему мы в настоящий момент с нетерпением ждем появления новых данных.

В книге подробности самых современных научных исследований чередуются с размышлениями о темах и концепциях, на кото-

* Рэндалл Л. Закрученные пассажи. Проникая в тайны скрытых размерностей пространства. — М.: УРСС, Либроком, 2011.

рых зиждется наука и которые помогают разобраться в окружающем мире. Часть I, главы 11 и 12 части II, главы 15 и 18 части III и финальная часть VI (подведение итогов) больше рассказывают о научном мышлении, тогда как в остальных главах говорится преимущественно о физике — о сегодняшнем ее состоянии и о том, как мы к нему пришли. В определенном смысле это две книги в одной, но читать их лучше всего вместе. Кому-то может показаться, что современная физика слишком далека от повседневной жизни, чтобы быть понятной; однако знакомство с базовыми философскими и методологическими концепциями, направляющими нашу мысль, поможет прояснить для себя как сущность науки, так и значение научного мышления как такового, в чем мы убедимся на множестве примеров. И наоборот, полное понимание базовых элементов научного мышления достигается лишь на примерах из прикладной науки. Желающие могут, разумеется, бегло просмотреть или вообще пропустить одну из двух частей, но следует иметь в виду, что лишь вместе они образуют гармонию.

Ключевую роль на протяжении всей книги будет играть понятие масштаба. Законы физики — это те рамки, которые соединяют теоретические и физические описания в единое логически последовательное целое — от мельчайших сгустков частиц, которые в настоящее время исследуются на БАКе, до громадного космоса*. Категория масштаба принципиально важна как для нашего мышления, так и для конкретных фактов и идей, с которыми мы будем иметь дело. Признанные научные теории имеют свое применение на доступных нам масштабах. Но, по мере того как мы получаем все новые данные о неисследованных прежде объектах (больших и маленьких), эти теории постепенно поглощаются другими, все более точными и фундаментальными. В главе 1 мы попытаемся определить элементы масштаба и объяснить, почему в физике так важно классифицировать объекты по размерам и как новые научные достижения выстраиваются на фундаменте прежних.

* Большой адронный коллайдер весьма велик, но используется он для изучения мельчайших объектов. Причины, по которым он сделан таким большим, будут описаны ниже, когда мы рассмотрим детально конструкцию БАКа. — *Прим. авт.*

Кроме того, в части I сравниваются различные способы получения знаний. Спросите, что представляют люди, когда думают о науке, и, скорее всего, вы получите абсолютно разные ответы. Некоторые скажут, что наука — это жесткие неизменные утверждения об устройстве физического мира. Другие определяют науку как набор принципов, которые постоянно заменяются другими, а третьи заявят, что наука — это не что иное, как еще одна система верований, и ничем качественно не отличается от философии или религии. И все будет неправы.

В постоянных ожесточенных спорах, в том числе и внутри научного сообщества, нет ничего удивительного; главная причина здесь — непрерывная эволюция самой науки. В этой части мы немного поговорим об истории науки; это поможет читателю понять, как сегодняшние исследования вырастают из интеллектуальных прорывов XVII в., и вспомним некоторые не самые известные факты давней дискуссии между наукой и религией и их противостояния, возникшего примерно в то же время. Речь пойдет также о материалистических взглядах и о том, к каким неудобным следствиям они приводят в вопросе о науке и религии.

Часть II обращается к физической структуре материального мира и составляет примерную карту предстоящего научного путешествия: от материи знакомых и привычных масштабов мы двинемся вниз, к мельчайшим объектам, проводя одновременно их классификацию. Мы покинем знакомую территорию и перейдем к объектам субмикроскопическим, внутреннюю структуру которых можно исследовать лишь при помощи гигантских ускорителей частиц. Закончится раздел краткой информацией о наиболее крупных текущих экспериментах — Большом адронном коллайдере и астрономических исследованиях самого начала эволюции Вселенной.

Всякое интересное научное открытие потенциально способно радикально изменить наше мировоззрение: это в полной мере относится к нынешним амбициозным проектам. В части III мы начнем подробнее разбираться в работе БАКа и в том, как это громадное устройство создает и сталкивает между собой протонные пучки; цель эксперимента — получение новых частиц, которые

расскажут нам об устройстве мельчайших обнаруженных объектов. В этом разделе объясняется также, как ученые, проводящие эксперимент, собираются интерпретировать полученные данные.

Европейский центр ядерных исследований — CERN* (равно как и лживый голливудский блокбастер «Ангелы и демоны») — много сделал для популяризации физики элементарных частиц и ее экспериментальной стороны. Многие слышали о гигантском ускорителе частиц, который будет сталкивать между собой высокоэнергетические протоны и создавать в крохотном пространстве невиданные прежде формы материи. Сегодня БАК работает и готов изменить наши взгляды на фундаментальную природу материи и пространства. Но мы пока не знаем, что именно обнаружится с его помощью.

В ходе нашего научного путешествия мы поразмышляем о научной неопределенности и о том, что на самом деле могут показать измерения. Исследования по самой природе своей пересекают грань непознанного. Эксперименты планируются таким образом, чтобы уменьшить или устранить как можно больше неопределенностей. Тем не менее, хотя это может показаться парадоксальным, в повседневной научной практике полно неопределенностей. Часть III исследует, как ученые отвечают на современные вызовы и как понимание принципов научного мышления помогает обычному человеку верно интерпретировать наш сложный мир.

В части III рассматривается также пресловутая проблема черных дыр и то, как раздутые по их поводу страхи смотрятся на фоне некоторых реальных опасностей. Мы рассмотрим важные вопросы анализа затрат и результатов и проблему рисков, поговорим о возможных подходах к ним — как в лаборатории, так и вне ее.

Часть IV рассказывает о поиске бозона Хиггса, а также о конкретных моделях — обоснованных предположениях о том, что существует и может быть обнаружено при помощи БАКа. Если эксперименты на коллайдере подтвердят некоторые из предложенных теоретиками идей — или откроют что-нибудь неподвижное, — их результаты заметно изменят наши представления

* Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire — Европейский совет ядерных исследований. — *Прим. пер.*

о мире. В этом разделе объясняется механизм Хиггса, ответственный за появление масс у элементарных частиц, а также проблема иерархии, из которой вытекает, что мы должны обнаружить еще больше частиц. В ней также исследуются модели решения этой проблемы и предсказанные ими экзотические новые частицы, связанные, к примеру, с суперсимметрией или дополнительными пространственными измерениями.

Параллельно с конкретными гипотезами в этой части объясняется, как физики конструируют модели. В ней рассказывается не только о том, что ищут физики с помощью БАКа, но и о том, как они предугадывают, что именно найдут. В этой части описано, как ученые пытаются связать абстрактные на первый взгляд данные, полученные на БАКе, с глубокими и фундаментальными идеями, которые мы в настоящее время исследуем.

После исследования глубин вещества мы обратим в части V взгляд вовне. В то время как БАК исследует самые крохотные материальные объекты, космические аппараты и телескопы, напротив, разбираются с самыми крупными объектами космоса — они пытаются определить, в каком темпе ускоряется расширение Вселенной, и подробно изучают реликтовое излучение, оставшееся со времен Большого взрыва. Совсем скоро нас могут ожидать поразительные открытия в *космологии* — науке о том, как развивалась Вселенная. В этом разделе мы рассмотрим Вселенную в самом крупном масштабе и обсудим связь космологии и физики элементарных частиц, а также загадочную и неуловимую темную материю и эксперименты, направленные на ее поиски.

Завершит книгу часть VI с размышлениями о творческих возможностях человека и о том, из какого множества разнообразных элементов складывается креативное мышление. Мы обсудим, как человек может получить ответы на глобальные вопросы, совершая мелкие повседневные действия. И в самом конце поговорим о том, почему сегодня так важны наука и научное мышление, а также о симбиозе техники и научного мышления, привнесшем так много прогрессивного в современную жизнь.

Мне часто напоминают, как сложно неученым понимать и оценивать абстрактные идеи, с которыми имеет дело современ-

ная наука. Я осознала это в тот момент, когда мне пришлось после публичной лекции о дополнительных измерениях и физике встретиться с группой студентов колледжа. Мне сказали, что все они очень хотят задать мне один вопрос, и я подумала, что они что-то недопоняли в моей лекции. Оказалось, их всех интересовал мой возраст. Однако отсутствие интереса — не единственная проблема, и те студенты все же постепенно перешли к вопросам о науке. Бессмысленно, однако, отрицать, что фундаментальная наука часто абстрактна, и оправдать ее существование в глазах неспециалистов зачастую непросто. С этим препятствием я столкнулась осенью 2009 г. на слушаниях в Конгрессе, где я была вместе с Деннисом Коваром, заместителем директора по физике высоких энергий Управления науки Министерства энергетики США, Пьером Оддоном, директором Национальной ускорительной лаборатории имени Ферми, и Хью Монтгомери, директором Лаборатории Джефферсона — еще одного центра ядерной физики. В правительственное учреждение я попала впервые со школьных времен — тогда я стала финалистка научного конкурса, устроенного фирмой Westinghouse, и конгрессмен моего округа Бенджамин Розенталь устроил мне экскурсию; благодаря его великодушью я многое увидела, тогда как остальные финалисты смогли только сфотографироваться с ним.

Во время недавнего визита я вновь получила возможность увидеть кабинеты, в которых делается политика. Зал, где заседает Комитет по науке и технике Палаты представителей, находится в офисном здании Рейберн-Хаус. Мы как приглашенные «свидетели» сидели лицом к конгрессменам. Над головами депутатов висели воодушевляющие высказывания, одно из которых гласило: «Без откровения народ гибнет. (Притчи 29:18)».

Судя по всему, американское правительство не в состоянии обойтись без ссылок на Священное писание даже в зале, где конгрессмены обсуждают исключительно науку и технику. Тем не менее мысль, выраженная в этих словах, благородна и точна, и мы все были бы рады, если бы законодатели про нее не забывали.

Вторая табличка содержала цитату из Теннисона: «Ибо я погружался в будущее так далеко, насколько видят глаза, /И видел

образ мира и все его будущие чудеса». Тоже неплохая мысль; пожалуй, об этом действительно стоит помнить, излагая цели наших исследований.

Однако ирония ситуации заключалась в том, что лицом к этим изречениям сидели мы — «свидетели» из мира науки, и без того настроенные в таком ключе. А народные представители сидели прямо под ними и, соответственно, не могли их видеть. Конгрессмен Липински сказал во вступительном слове, что открытия порождают еще больше вопросов и серьезные метафизические проблемы; он признал, что видел таблички с изречениями, но они очень легко забываются. «Мало кто из нас смотрит вверх хотя бы иногда», — сказал он, поблагодарив нас за напоминание.

Оставив интерьер Конгресса в покое, мы, ученые, перешли к делу и попробовали объяснить, почему настоящий период так интересен и беспрецедентен для космологии и физики элементарных частиц. Вопросы конгрессменов иногда были острыми и скептическими, но я могу представить себе, какое сопротивление им приходится преодолевать, объясняя своим избирателям, почему решение прекратить финансирование науки было бы ошибочным даже перед лицом экономического кризиса. Вопросы нам задавали самые разные — подробно расспрашивали о целях конкретных экспериментов, но брали и шире — интересовались ролью науки и тем, куда она ведет человечество.

Периодически конгрессмены покидали зал, чтобы участвовать в голосовании. В промежутках между такими выходами мы приводили примеры благ, полученных в качестве побочного продукта от развития фундаментальной науки. Даже самые общие научные исследования зачастую приносят неожиданные плоды. Мы говорили о том, как Тим Бернерс-Ли придумал Всемирную паутину как средство для обеспечения сотрудничества физиков из разных стран в совместных экспериментах в CERN. Мы обсуждали медицинские приложения, такие как ПЭТ — позитронно-эмиссионную томографию — метод исследования внутренних органов при помощи античастиц, парных к электрону. Мы объясняли важность промышленного производства сверхпроводящих магнитов, которые были разработаны для коллайдера, но сегодня применяются

и в магнитно-резонансной томографии. Наконец, мы говорили о применении общей теории относительности в точном прогнозировании, в том числе в работе глобальной навигационной системы GPS, которой мы ежедневно пользуемся.

Конечно, серьезная наука не обязательно приносит немедленные практические плоды. Даже если работа окупается и приносит прибыль, мы редко знаем об этом заранее или даже в момент совершения открытия. Когда Бенджамин Франклин сделал вывод об электрической природе молнии, он никак не мог знать, что скоро электричество изменит лицо планеты. И Эйнштейн, работая над общей теорией относительности, не ждал, что ее можно будет применить в каких-либо практических устройствах.

Таким образом, в тот день мы упирали в первую очередь не на практические приложения научных исследований, а на жизненно важную чистую науку вообще. Наука в Америке имеет несколько сомнительный статус, но сегодня многие уже понимают ее ценность. После Эйнштейна представления общества о Вселенной, времени и пространстве изменились, о чем свидетельствует песня *As Time Goes By*^{*}, процитированная в «Закрученных пассажирах». Даже язык и стиль мышления меняются по мере того, как человек лучше понимает окружающий мир и развивает в себе новые мыслительные возможности. От того, чем заняты сегодня ученые и как мы все к этому относимся, зависят и наш завтрашний взгляд на мир, и развитие стабильного думающего общества.

Мы живем в невероятно интересное время, когда проводятся самые дерзкие эксперименты в области физики и космологии. В книге мы рассмотрим широкий спектр всевозможных исследований и коснемся разных способов познания мира — через искус-

* Знаменитая песня Германа Хапфилда, ставшая очень популярной после фильма «Касабланка» (1942), в первоначальном варианте 1931 г. начиналась безошибочно опознаваемой отсылкой к последним достижениям физики:

«Век, в котором мы живем,
Становится причиной опасений
Из-за скорости, новых изобретений
И вещей наподобие четвертого измерения.
Мы уже слегка утомлены
Теорией Эйнштейна...» — *Прим. авт.*

ство, религию и науку, — но обсуждать будем преимущественно цели и методы современной физики. Ведь даже самые крохотные объекты Вселенной помогают нам понять, кто мы такие и откуда пришли. Крупные структуры проливают свет на наше космическое окружение, а также на происхождение Вселенной. Эта книга о том, что и каким образом мы надеемся найти. Наше путешествие будет полно загадок и приключений — так что добро пожаловать на борт.

Часть I

**МАСШТАБИРОВАНИЕ
РЕАЛЬНОСТИ**

ГЛАВА 1

ТЕБЕ — МАЛО, МНЕ — В САМЫЙ РАЗ

Среди множества причин, по которым я выбрала своей профессией физику, было желание сделать что-нибудь долговременное, даже вечное. Если, рассуждала я, мне предстоит вложить столько времени, энергии и энтузиазма в какое-то дело, то результат этого дела должен быть истинным и... ну, скажем, остаться навсегда. Как большинство людей, я считала, что научные открытия и идеи выдерживают испытание временем.

Пока я билась над физикой, моя подруга Анна Христина Бюхманн изучала в колледже английский язык. По иронии судьбы, она выбрала своей профессией литературу ровно по той же причине, которая привела меня к физике и вообще к науке. Ее привлекали вдохновенные истории, способные пережить века. Обсуждая с ней много лет спустя роман Генри Филдинга «История Тома Джонса, найденыша», я узнала, что еще студенткой она принимала участие в написании аннотации того самого издания этого романа, которое мне так понравилось.

«Том Джонс» был опубликован 250 лет назад, тем не менее его юмор и затронутые в романе вопросы актуальны по сей день. Попав впервые в Японию, я прочла гораздо более древнее произведение — «Повесть о Гэндзи» — и поразилась тому, насколько современными выглядят его герои, хотя прошла уже целая тысяча лет с тех пор, как Мурасаки Сикибу описала их всех. Гомер создал «Одиссею» еще на 2000 лет раньше. Несмотря на то что и век,

и люди там описаны совсем другие, мы до сих пор наслаждаемся рассказом о странствиях Одиссея и неподвластными времени картинами человеческой природы.

Ученые редко читают старые — и тем более древние — научные тексты. Как правило, мы оставляем это занятие историкам и литературным критикам. Тем не менее мы всю пользуемся знаниями, накопленными человечеством за многие века, — это можно сказать и о Ньютоне с его XVII в., и о Копернике, жившем еще на сотню лет раньше. Может быть, мы забываем их книги, зато тщательно сохраняем изложенные в них важные идеи.

Разумеется, наука не есть неизменное собрание универсальных законов, которое все мы изучаем в начальной школе. С другой стороны, это и не собрание произвольных правил. Наука — непрерывно развивающийся массив знаний. Многие из гипотез, которые мы в настоящий момент исследуем, окажутся ошибочными или неполными. Научные формулировки, естественно, меняются, по мере того как мы преодолеваем границы известного и вторгаемся в области непознанного, где можно уловить далекий отблеск еще более глубоких истин.

Ученым постоянно приходится сталкиваться с одним занятным парадоксом. Заключается он в том, что в погоне за вечными истинами нам часто приходится работать с идеями, которые мы сами же затем пересматриваем или отбрасываем — иногда под давлением экспериментальных данных, иногда просто с развитием представлений об изучаемом предмете. Прочное ядро проверенных и надежных знаний всегда окружено неопределенностью, которая и представляет предмет текущих исследований. Некоторые горячо обсуждаемые сегодня идеи и предположения будут мгновенно забыты, если завтра более убедительные или полные экспериментальные данные лишат их основы.

Когда Майк Хакаби, кандидат в президенты США от Республиканской партии на выборах 2008 г., предпочел в своих публичных речах сделать ставку на религию, а не на науку — отчасти потому, что научные «верования» меняются, тогда как христиане считают своим учителем вечного Бога, — в этом был резон. Вселенная развивается, и научные знания о ней — тоже. Постепенно

ученые снимают с реальности один покров за другим и обнажают то, что скрывается в глубине. Зондируя все более далекие от нас масштабы реальности, мы расширяем и обогащаем представления человечества об окружающем мире. Когда нам удастся узнать что-то новое о том, как устроен наш мир, мы делаем шаг вперед, а неизведанное отступает. При этом научные «верования» соответствующим образом изменяются.

Тем не менее сегодня, когда развитие техники позволяет нам выйти на новый уровень наблюдений, мы не спешим отбрасывать теории, которые при доступных прежде масштабах и энергиях или при доступных прежде скоростях и плотностях позволяли строить верные гипотезы. Научные теории растут и расширяются, вбирая в себя новые знания, но их надежная и проверенная основа остается прежней. Таким образом, наука всегда включает старые, подтвержденные знания в более полную картину, которая возникает при очередном расширении возможностей и для экспериментальных наблюдений, и для теоретических исследований. Перемены не обязательно означают, что старые правила неверны; они могут означать, к примеру, что в мельчайших масштабах, где были выявлены новые компоненты, эти правила уже не применимы. Так что массив наших знаний может включать прежние идеи и при этом расширяться со временем, хотя, скорее всего, за его пределами всегда будет лежать обширная область неизведанного. Как путешествия всегда очень интересны, хотя никто не в силах побывать в каждой точке планеты (не говоря уже о космосе), так и расширение представлений о природе материи и Вселенной обогащает нашу жизнь. А неизведанное всегда рядом, оно зовет и вдохновляет на дальнейшие исследования.

В моей собственной области исследований — физике элементарных частиц — рассматриваются все более короткие расстояния между частицами; цель нашей работы — изучать все более крохотные компоненты материи. В текущих экспериментальных и теоретических исследованиях ученые, забираясь все глубже, пытаются раскрыть внутренние тайны материи. Но она, несмотря на часто используемую аналогию, не похожа на русскую матрешку, где в уменьшенном масштабе повторяются точно такие же эле-

менты. Изучение все более мелких расстояний между частицами интересно еще и тем, что правила в этом мире могут меняться с изменением масштабов. Могут проявляться совершенно новые взаимодействия и силы, действие которых на предыдущем уровне исследований, т. е. на больших расстояниях, невозможно было уловить.

Понятие масштаба, которое говорит физикам, о каких размерах и энергиях в данном исследовании идет речь, очень важно для понимания научного прогресса, как и многих других аспектов окружающего мира. Исследования показали, что далеко не во всех процессах ведущую роль играют одни и те же законы физики. Нам приходится соотносить и сравнивать между собой концепции, применимые к явлениям разных масштабов: на одном масштабе лучше применимы одни законы, на другом ведущую роль играют другие. Категоризация явлений и объектов по масштабу позволяет уложить все, что нам известно, в единую непротиворечивую картину.

В этой главе мы увидим, как разделение по масштабам — определение того, о каком масштабе в данном случае идет речь — помогает прояснить идеи (и не только научные), а также то, почему тонкие свойства строительных «кирпичиков» материи так сложно заметить на тех расстояниях, с какими мы имеем дело в повседневной жизни. Разбираясь с этими вопросами, мы поговорим о том, что означают в науке слова «верно» и «неверно» и почему даже радикальные на первый взгляд открытия не обязательно вызывают резкие изменения в наших устойчивых представлениях о мире.

О НЕВОЗМОЖНОМ

Люди нередко путают развивающееся научное знание с незнанием, а открытие новых физических законов — с полным отсутствием до этого события каких бы то ни было надежных правил. Во время недавней поездки в Калифорнию у меня произошел интересный разговор со сценаристом Скоттом Дерриксоном, который помог мне выделить источник некоторых из этих неверных

представлений. В тот момент Скотт работал над парой сценариев, в которых рассматривалась потенциальная связь между наукой и явлениями, которые, как он подозревал, ученые отбросили бы как сверхъестественные. Желая избежать серьезных ошибок, Скотт решил рассказать сюжет своей выдуманной истории физике — а именно мне. Так что мы встретились за ланчем в уличном кафе, чтобы обменяться мыслями и насладиться солнечным лос-анджелесским днем.

Скотт знал, что сценаристы зачастую неверно представляют науку, но хотел, чтобы именно его истории о привидениях и путешествиях во времени были написаны с разумной долей научной достоверности. Особая трудность состояла в том, что он как сценарист должен был представить своей аудитории не просто описание интересных новых явлений, но и преподнести их эффектно и увлекательно. Не имея специального образования, Скотт тем не менее был сообразителен и восприимчив к новым знаниям. Поэтому я объяснила ему, почему его сюжеты, как бы изобретательны и хороши они ни были, всегда будут несостоятельными с точки зрения науки.

В истории, возразил в ответ Скотт, не раз возникали ситуации, когда какие-то явления, считавшиеся до поры невозможными, оказывались вполне реальными. Разве ученые не отнеслись поначалу с недоверием к теории относительности? Кто мог предположить, что случайность играет в фундаментальных физических законах какую-то роль? Несмотря на большое уважение к науке, Скотт считал, что ученые нередко ошибаются в том, к каким последствиям приведут их открытия.

Некоторые критики идут еще дальше и утверждают, что предсказания ученых по определению сомнительны. Несмотря на данные науки, скептики упрямо твердят, что в них всегда может скрываться какой-то подвох или недосмотр. Как знать, вдруг человек все же может воскреснуть из мертвых или в крайнем случае попасть в Средние века или в Древний Египет.

Конечно, быть восприимчивым ко всему новому — это разумно, да и то, что впереди нас ожидают новые открытия, сомнений не вызывает; тем не менее эти рассуждения скрывают глубо-

кий изъян. Чтобы убедиться в этом, следует подробнее разобрать смысл понятия «масштаб». «Неверующие» в прозорливость ученых игнорируют тот факт, что, хотя всегда будут существовать области неисследованных расстояний и энергий, где могут действовать неизвестные нам пока законы физики, в привычном для нас, «человеческом», измерении существующие законы действуют безотказно. Мы столетиями проверяли их справедливость всеми возможными способами.

Однажды в музее Уитни я встретила с хореографом Элизабет Стреб — мы обе участвовали в дискуссии о творческих возможностях человека. Выяснилось, что она тоже сомневается в точности и определенности научных знаний применительно к масштабам привычной жизни. Элизабет задала мне примерно тот же вопрос, что немного раньше задавал Скотт: «Не могут неизвестные нам законы природы, действующие в отношении крохотных измерений, наличие которых предполагают физики, воздействовать на нас — на то, как мы двигаемся, например? Мы их не видим и не чувствуем, а они влияют на нас?»

Работы Элизабет прекрасны, ей удалось невероятно глубоко проникнуть в философию танца и движения. Причина же, по которой мы не можем определить, существуют ли дополнительные измерения и какую роль они играют во Вселенной, заключается в том, что они слишком малы. Мы до сих пор не зарегистрировали их влияния ни на один параметр из всего спектра наблюдаемых величин. А чтобы дополнительные измерения влияли на движение тела, их существование должно вызывать в окружающем мире намного более серьезные последствия. Разумеется, если бы такое влияние было, мы давно обнаружили бы его результаты. Поэтому мы точно знаем, что основы танца нисколько не изменятся, даже если мы гораздо лучше поймем квантовую гравитацию. Ее действие слишком слабо по отношению к любым явлениям, заметным в человеческом масштабе.

В прошлом ученые часто ошибались, потому что еще не могли исследовать очень маленькие или очень большие расстояния и скорости или чрезвычайно высокие энергии. Это вовсе не означало, что ученые, подобно луддитам, отказывались от прогресса.

Просто они полностью доверяли самым современным на тот момент математическим описаниям мира и сделанным с их помощью прогнозам относительно сути и поведения объектов и явлений, которые тогда можно было наблюдать. Явления, считавшиеся учеными прошлого невозможными, на самом деле могли иметь место и иногда действительно происходили на расстояниях или скоростях, с которыми они никогда прежде не имели дела. И, разумеется, ученые тогда не могли знать о будущих идеях и теориях, которые в конце концов утвердились для тех самых крохотных расстояний или громадных энергий.

Когда ученые говорят, что им что-то известно, это означает лишь, что у них есть определенные мысли и теории, предсказания которых хорошо проверены *в определенном диапазоне расстояний или энергий*. Такие мысли и теории не обязательно представляют собой фундаментальные физические законы. Это просто правила, подтвержденные надежными экспериментами в диапазоне параметров, доступных сегодняшней технике. Все это не означает, что данные законы никогда не опровергнут и не дополнят новые. Законы Ньютона верны, но не применимы для скоростей, близких к скорости света, где действует теория Эйнштейна. Законы Ньютона одновременно и верны, и неполны. Они применимы в ограниченной области.

Более совершенные знания, которые мы получаем с помощью более точных измерений, — всегда шаг вперед, предвещающий новые, подчас прорывные концепции. Нам сегодня известны многие явления, которые древние не могли даже представить себе, не то что обнаружить, ведь оборудование для наблюдений в те времена было примитивным с современной точки зрения. Так что Скотт был прав: иногда ученые ошибаются, считая невозможным то, что в конце концов оказывается реальностью. Но это не значит, что не существует никаких правил. Призраки и путешественники во времени не появятся в наших домах, и инопланетные существа не выйдут неожиданно из стен. Может оказаться, что дополнительные пространственные измерения существуют, но они крохотные, или особым образом изогнутые, или еще каким-то образом скрыты от наблюдений, иначе

как объяснить, почему до сих пор не получено никаких свидетельств их существования.

Необычные явления действительно могут иметь место. Но происходят они в масштабах, чрезвычайно трудных для обычного человеческого восприятия. Если такие явления навсегда останутся для нас абсолютно непостижимыми, то особого интереса ученых они не вызовут. Объективно говоря, они не представляют интереса и для писателей-фантастов, поскольку никак не могут повлиять на нашу повседневную жизнь.

Понятно, что нефизиков интересуют в первую очередь те «странные» явления, которые мы можем наблюдать. Как говорил Стивен Спилберг в дискуссии о научно-фантастическом кино, странный мир, который нельзя представить на киноэкране и в который не могут попасть герои фильма, не слишком интересен зрителю (о чем свидетельствует забавное доказательство на рис. 1). Интересен мир, в который можно попасть и который можно заметить. И абстрактные идеи, и художественный вымысел литератора невозможны без воображения, но типы воображения в них существенно различаются. Если какие-то научные идеи применимы только в условиях, далеких от параметров нашей повседневной земной жизни, они тем не менее представляют собой существенную часть описания физического мира, но вряд ли попадут в фильм.



РИС. 1. Так в комиксе представлена скрытая природа свернутых измерений

Дело просто в том, что третье измерение плотно скручено и слишком мало, чтобы наблюдать его при нормальных энергиях.