

Наука ведет непрерывную войну за умы и сердца людей... Как здорово, что на нашей стороне сражается такой великолепный боец, как Лиза Рэндалл — с ее умом, обаянием, глубочайшими знаниями и безупречно ясным научным мышлением.

Ричард Докинз, ученый, писатель, популяризатор науки

Лиза Рэндалл

ДОСТУЧАТЬСЯ ДО НЕБЕС

НАУЧНЫЙ ВЗГЛЯД НА УСТРОЙСТВО ВСЕЛЕННОЙ



Династия

ЭНФ

Лиза Рэндалл

Достучаться до небес. Научный взгляд на устройство Вселенной

Текст предоставлен издательством

http://www.litres.ru/pages/biblio_book/?art=7008791

Достучаться до небес: Научный взгляд на устройство Вселенной /

Лиза Рэндалл: Альпина нон-фикшн; Москва; 2014

ISBN 978-5-9614-3267-1

Аннотация

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.

Содержание

| | |
|-----------------------------------|----|
| Введение | 6 |
| Часть I | 25 |
| Глава 1 | 25 |
| О невозможном | 30 |
| Поворот не в ту сторону | 36 |
| Эффективные теории | 40 |
| Фотоны и свет | 57 |
| Глава 2 | 66 |
| Вклад Галилея в науку | 69 |
| Конец ознакомительного фрагмента. | 77 |

Лиза Рэндалл
Достучаться до небес.
Научный взгляд на
устройство Вселенной

Издание подготовлено при поддержке Фонда Дмитрия
Зимины «Династия»

Перевод *Наталья Лисова*

Научные консультанты *Михаил Ревнивцев, д. ф.-м. н.,*
Дмитрий Горбунов, к. ф.-м. н.

Редактор *Юлия Быстрова*

Руководитель проекта *И. Серёгина*

Корректор *М. Савина*

Компьютерная верстка *А. Фоминов*

Дизайнер обложки *Ю. Буга*

© Lisa Randall, 2011

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

Фонд некоммерческих программ «Династия» основан в
2002 г. Дмитрием Борисовичем Зиминым, почетным пре-

зидентом 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 «Династии» – 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 электронной версии 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, для частного и публичного использования без письменного разрешения владельца авторских прав.

* * *

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 км¹, расположенный между горами Юра и

¹ Я буду часто использовать приближенное значение 27 км. – *Прим. авт.*

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 – провести 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 много-

летние 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 самая я сначала думала именно так, – что наука достоверно отражает реальность и правила, которым подчиняется физи-

ческий 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 рождавать 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 человеческих 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»² 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 которых 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 мыш-

² Рэндалл Л. Закрученные пассажи. Проникая в тайны скрытых размерностей пространства. – М.: УРСС, Либроком, 2011.

ления достигается лишь на примерах из прикладной науки. Желаящие 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 космоса³. 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.

Кроме того, в части I сравниваются различные способы получения знаний. Спросите, что представляют люди, когда

³ 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.*

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 будут 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 исследо-

вать 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 – CERN⁴ (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 простран-

⁴ Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire – Европейский совет ядерных исследований. – *Прим. пер.*

ства. 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 проблеме 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 непредвиденное, – их результаты заметно изменят наши представления о мире. В этом разделе объясняет-

ся 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 БАК, 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 элементар-

ных 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 современная 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 ди-

ректора 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 финалисткой 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 относитель-

ности, 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 жизненную важность чистой науки 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*⁵, процитированная в «Закрученных пассажах». 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 искусство, религию и науку, – но обсуждать будем преимущественно цели и методы современной физи-

⁵ 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.

ки. 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, найденныша», 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 поразила 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 фор-

мулировки, 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 отстывает. 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 вдохнов-

ляет 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, забываясь 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 элементы. 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 физику –

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 недо-смотр. 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 глубокий 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 уче-

ные 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.

Поворот не в ту сторону

Несмотря на четкую классификацию масштабов в науке, многие люди, пытаясь понять сложные вещи в окружающем мире, ошибочно сокращают себе путь к истине. Иногда это

выливается в слишком буквальное толкование теорий. Вообще, неверное приложение научных знаний – явление не новое. В XVIII в., когда ученые активно изучали в лабораториях магнетизм, люди, далекие от науки, придумали «животный магнетизм» – некие «жизненные токи», присущие всем живым существам. И лишь в 1784 г. французская Королевская комиссия, созданная по указу Людовика XVI (среди прочих в нее входил Бенджамин Франклин), формально опровергла эту теорию.

Сегодня подобные неверные экстраполяции часто связаны с квантовой механикой, когда ее пытаются применить на макроуровне, где ее следствия, как правило, усредняются и не оставляют измеримых следов⁶. Меня тревожит, что столько людей вокруг всерьез воспринимают идеи, высказанные, к примеру, Рондой Берн в ее бестселлере «Тайна»⁷, о том, что позитивные мысли притягивают богатство, здоровье и счастье. Равно как тревожит и следующее утверждение Берн: «Я никогда не изучала физику в школе, тем не менее когда я читала сложные книги по квантовой физике, то прекрасно их понимала, потому что хотела понять. Изучение квантовой

⁶ Квантовая механика может иметь макроскопические проявления в тщательно подготовленных системах; они также могут выявиться при наборе большой статистики или при использовании самых прецизионных устройств. Однако это не мешает использовать классические теории в большинстве обычных ситуаций. Все зависит от прецизионности, как будет дальше рассказано в главе 12. – *Прим. авт.*

⁷ Берн Р. Тайна. – М.: Эксмо; Домино, 2011.

физики помогло мне глубже *проникнуть в тайну* на энергетическом уровне».

Еще пионер квантовой механики нобелевский лауреат Нильс Бор заметил: «Если квантовая механика не вызывает у вас легкого головокружения, значит, вы ее не понимаете». К сожалению, квантовая механика печально известна большим количеством неверных интерпретаций. Наш язык и вообще стиль мышления происходят от *классической логики*, которая, разумеется, не берет в расчет квантовую механику. Но это не означает, что квантовой логикой можно объяснить любое непривычное явление. Тем не менее даже без глубокого знания квантовой механики с ее помощью можно делать верные предсказания. Так, можно наверняка утверждать, что квантовая механика не имеет отношения к «тайне» Ронды Берн и ее так называемому принципу притяжения между людьми, а также далекими друг от друга предметами или явлениями. На больших расстояниях, о которых идет речь, квантовая механика не может играть такой роли. Квантовая механика не имеет отношения и ко многим другим соблазнительным идеям, которые ей нередко приписывают. Невозможно изменить ход эксперимента пристальным взглядом; квантовая механика не отвергает возможность делать достоверные предсказания, а точность измерений в большинстве случаев ограничена чисто технически и не обусловлена принципом неопределенности.

Подобные заблуждения стали главной темой удивительно-

го разговора, который произошел у меня с Марком Висенте, режиссером фильма «Кроличья нора, или Что мы знаем о себе и Вселенной». Этот фильм – настоящая головная боль ученых: в нем утверждается, что человеческий фактор влияет на ход экспериментов. Я не была уверена в плодотворности этой дискуссии, однако времени у меня было много и его нужно было чем-то занять. Уже несколько часов я сидела на летном поле аэропорта Dallas-Fort Worth и дожидалась, пока механики выправят легкую вмятину в крыле самолета (один из членов экипажа с готовностью пояснил нам, что сначала вмятину эту сочли слишком мелкой, но потом, на нашу беду, «измерили техническими средствами»).

Было очевидно, что, прежде чем начинать разговор с Марком, необходимо выяснить, как он сам относится к своему фильму. Я была знакома с его работой по отзывам многочисленных слушателей на лекциях, часто задававших мне странные вопросы об увиденном. Надо сказать, что ответ Марка немало удивил меня. Он изменил курс на 180° и признался, что первоначально подходил к науке с предубеждением, но теперь считает свои прежние взгляды заблуждением. В конце концов Марк пришел к выводу: то, что он показал в фильме, – не наука. Возможно, рассказ о явлениях, связанных с квантовой механикой, на человеческом уровне – естественно, поверхностный, иначе просто и быть не может – устраивает многих зрителей, но это не делает его корректным с научной точки зрения.

Но даже если новые теории требуют радикально новых допущений – как, безусловно, обстояло дело с квантовой механикой, – то рано или поздно веские научные аргументы и эксперименты помогают определить их истинность. Это не волшебство. Научный метод, а также данные экспериментов, как и стремление к логичности и непротиворечивости, – надежные инструменты, позволяющие ученым выходить за пределы интуитивного понимания и повседневных масштабов и разрабатывать странные на первый взгляд теории относительно явлений иных, труднодостижимых масштабов.

В следующем разделе показано, как представление о масштабе систематически помогает объединять различные теоретические концепции в единое непротиворечивое целое.

Эффективные теории

Параметр среднего роста человека находится примерно на середине шкалы (если строить ее в степенях числа десять, т. е. в логарифмическом масштабе) между мельчайшим вообразимым размером и громадностью Вселенной⁸. Мы очень

⁸ Иногда я буду использовать научную запись чисел, в которой размер Вселенной выражается как 10^{27} м. Это означает единицу с 27 нулями, что, конечно, гораздо компактнее, чем «тысяча триллионов триллионов». Самый маленький представимый масштаб составляет 10–35 м, т. е. число, обратное к единице с 35 нулями. Рост человека имеет порядок 1 м – это единица вообще без нулей. Таким образом, «человеческий» масштаб находится примерно посередине между двумя крайними значениями. – *Прим. авт.*

велики по сравнению с элементами внутренней структуры материи и чрезвычайно малы по сравнению со звездами, галактиками и пространством Вселенной. Все очень просто: легче всего человек «понимает» те размеры, которые может воспринять с помощью пяти чувств или простейших измерительных инструментов. Более «далекие» масштабы мы осваиваем путем наблюдений и логических умозаключений. Может показаться, что по мере удаления от непосредственно видимых и измеримых величин появляются величины все более абстрактные и трудные для понимания. Но техника вкуче с теорией позволяет нам познать природу материи в громадном диапазоне размеров.

Для любого участка этого обширного диапазона – от крохотных объектов, исследуемых в Большом адронном коллайдере, до галактик и самого космоса – сегодня имеются соответствующие научные теории. Для объекта каждого размера внутри этого диапазона и соответствующих расстояний могут действовать разные законы. Физикам приходится иметь дело с огромными объемами информации в очень большом диапазоне масштабов. Хотя фундаментальные законы физики, действующие на крупных масштабах, часто работают и на самых крохотных расстояниях, это не означает, что любые расчеты в энергетических масштабах удобно проводить с применением этих законов. Если для получения точного ответа на некий научный вопрос можно не задействовать внутреннюю структуру объекта или какие-то дополнитель-

ные обоснования, мы этого и не делаем, а применяем более простые правила.

Физика – и это одна из ее важнейших особенностей – дает нам представление о том, на каком диапазоне шкалы находятся те или иные измерения или предсказания в соответствии с доступным нам уровнем точности, и позволяет проводить расчеты сообразно этому. Прелесть такого взгляда на мир в том, что мы можем сосредоточиться на масштабе, значимом для интересующих нас объектов или явлений, выделить действующие в этом масштабе элементы, а затем вывести и применить законы, по которым эти элементы взаимодействуют между собой. Формулируя теории и проводя вычисления, ученые усредняют или просто игнорируют (иногда сами того не сознавая) физические процессы, проходящие в неизмеримо малых масштабах. Если это возможно, мы отбираем значимые – релевантные – факты и отбрасываем подробности, стараясь сосредоточиться на самом оптимальном участке диапазона. Это единственный способ разобраться в невообразимо плотном массиве информации.

Всегда имеет смысл отбросить мелочи и сосредоточиться на главном, не отвлекаясь на незначимые детали. Недавняя лекция профессора психологии из Гарварда Стивена Кослина напомнила мне, как ученые – и люди вообще – предпочитают работать с информацией. Во время эксперимента, который лектор проводил с аудиторией, он просил нас следить за отрезками, которые появлялись на экране один

за другим. Отрезки имели направление (север, юго-восток и т. д.), а все вместе образовывали ломаную линию (рис. 2). Нас попросили закрыть глаза и описать увиденное. Выяснилось, что, хотя наш мозг способен удерживать в памяти лишь несколько отдельных отрезков, мы можем вспомнить гораздо более длинные последовательности, сгруппировав отрезки в повторяющиеся формы. Думая в масштабах целого, а не отдельного отрезка, мы можем удержать в памяти всю ломаную.

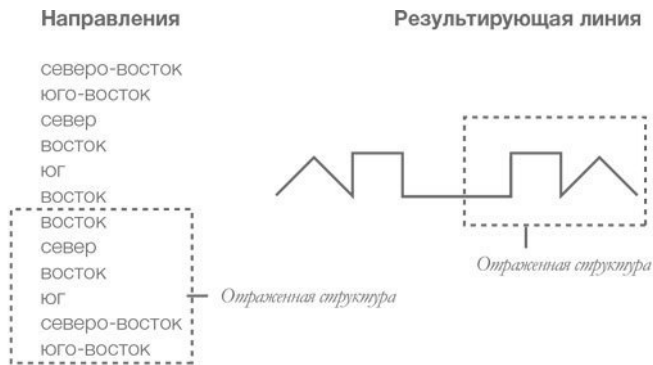


РИС. 2. Можно выбрать в качестве элемента отдельный отрезок или более крупную фигуру, такую как выделенный участок ломаной, который повторяется на рисунке дважды

Практически во всем, что мы видим, слышим, ощущаем на вкус, запах или прикосновение, мы можем выбирать: сосредоточиться ли нам на подробностях, приблизившись к

объекту, или, наоборот, рассматривать «картину в целом» – с иными приоритетами. Что бы мы ни делали – разглядывали произведение искусства, дегустировали вино, читали философский трактат или планировали отпуск, – мы автоматически мыслим двумя категориями: то, что нас в данный момент интересует – будь то размеры, ароматы, идеи или расстояния, – и то, что в данный момент для нас несущественно.

Вообще, сосредоточиться на главном и забыть на время о структурах слишком мелких, чтобы быть значимыми, полезно во многих случаях. Вспомните, как вы поступаете, когда пользуетесь каким-нибудь картографическим сервисом вроде Googlemaps и смотрите на маленький экран своего iPhone. Если вы едете или идете издалека, то сначала смотрите на общую карту, чтобы примерно понять, где место назначения находится относительно других знакомых мест. Затем, рассмотрев общую картинку, переходите к подробностям. На первом шаге вам не нужны лишние факты, вы просто хотите сориентироваться. Но, когда вы переходите к конкретным деталям своего путешествия – если надо найти, например, определенную улицу, – подробности, которые прежде были несущественны, начинают играть главную роль.

Конечно, выбранный масштаб карты определяется степенью подробности, которая вам необходима. Некоторые из моих друзей, бывая в Нью-Йорке, не обращают внимания на расположение своей гостиницы – такси довезет. Для них подробности вроде расположения отдельных кварталов города

несущественны. Однако для всякого, кто знает Нью-Йорк, подобные вещи имеют значение. Недостаточно знать, что вы остановились в центре города. Для ньюйоркца важно, находится ли он в данный момент выше или ниже Хьюстон-стрит, к востоку или к западу от парка на Вашингтон-сквер и т. д.

Хотя разные люди могут выбрать разный масштаб, никому все же не придет в голову выводить на экран карту Соединенных Штатов, чтобы найти ресторан. Его местоположение окажется за пределами разрешения такой карты. С другой стороны, для поиска ресторана вам не потребуется и поэтажный план здания, в котором он расположен. Для любой задачи существует свой релевантный масштаб (рис. 3).

Точно так же мы в физике классифицируем объекты по размеру, чтобы иметь возможность сосредоточиться на интересующих нас вопросах. Так, крышка письменного стола кажется нам твердой – она и есть твердая, – но на самом деле она состоит из атомов и молекул; именно они все вместе действуют как твердая непроницаемая поверхность, с которой мы каждый день имеем дело. Но сами атомы и молекулы тоже не представляют собой неделимую сущность; в каждом атоме есть ядро и электроны. А ядро атома состоит из протонов и нейтронов, которые, в свою очередь, суть более фундаментальные объекты, известные как кварки. И все же не обязательно знать о кварках, чтобы разобраться в электромагнитных и химических свойствах атомов и химических элементов (этим занимается атомная физика). Люди много лет

изучали атомную физику, прежде чем появились первые намеки на наличие так называемых элементарных частиц внутри атомов. И биологам при изучении клетки тоже не нужно знать о кварках внутри протона.

Эйфелева башня

Масштаб слишком мал



Релевантный масштаб



Масштаб слишком велик



РИС. 3. В разных масштабах видна разная информация

Я помню, как обидно мне было в школе, когда после долгих месяцев изучения законов Ньютона учительница объявила классу, что эти законы неверны. Но она была не совсем права. Законы Ньютона прекрасно работают на расстояниях и скоростях, которые можно было наблюдать в XVII в. Ньютон рассуждал о физических законах, которые действуют при той точности, с которой он (или кто угодно другой в ту эпоху) мог проводить измерения. Чтобы делать успешные предсказания в те времена, ему не нужна была общая теория относительности. Она не нужна и нам, когда мы предсказы-

ваем поведение больших тел при относительно низких скоростях и плотностях; здесь достаточно законов Ньютона. Сегодня, когда физики или инженеры изучают орбиты планет, им не обязательно знать точный состав Солнца. Так и законы, управляющие поведением кварков, не оказывают заметного влияния на движение небесных тел.

Концентрация на базовых компонентах, входящих в состав объекта, вряд ли поможет разобраться во взаимодействиях на более крупных масштабах, где крохотные субструктуры, как правило, играют незначительную роль. Было бы трудно добиться каких бы то ни было успехов в атомной физике, сосредоточив исследования на частицах, меньших, чем атомы, – кварках. Только в случаях, когда нам необходимо понять свойства ядра во всех подробностях, на сцену выходит кварковая субструктура. Бесконечно «точной точности» не существует, поэтому можно без опаски заниматься химией и молекулярной биологией, не обращая внимания на внутреннюю структуру атомных ядер. Движения Элизабет Стреб в танце не изменятся, что бы ни происходило в ее теле на уровне квантовой гравитации. Хореография опирается лишь на законы классической физики.

Все без исключения, в том числе и физики, с радостью пользуются более обобщенными описаниями, когда детали не поддаются разрешению. Физики формализуют этот интуитивный подход и распределяют объекты по категориям исходя из значимых в каждом конкретном случае расстоя-

ний (размеров) или энергий. Для решения любой задачи используется так называемая *эффективная теория*. Эффективная теория концентрируется на элементах и силах, которые действуют и производят «эффект» на рассматриваемых масштабах. Вместо того чтобы описывать частицы и взаимодействия в терминах неизмеримых параметров, мы формулируем нужные нам теории, уравнения и наблюдения для тех масштабов, которые нам в данный момент доступны и нужны для исследования.

Эффективная теория, которую мы применяем для исследований на больших масштабах, не предполагает, что вы сосредоточиваетесь на теориях, применимых на меньших масштабах. В ней говорится только о вещах, которые в данном масштабе можно измерить или увидеть. Если объект лежит за пределами разрешения того масштаба, в котором вы работаете, внутреннюю структуру этого объекта вам знать не обязательно. И такая практика вовсе не является научным мошенничеством. Это просто эффективный способ избавиться от избыточной информации, получить точные ответы и удержать в поле зрения все значимые элементы системы.

Неизвестные факторы, не оказывающие измеримого влияния на ситуацию, можно без опаски отбросить – вам не обязательно знать о них, чтобы успешно предсказывать поведение системы. Явления, недоступные исследователю при нынешнем уровне развития техники, по определению, не вызовут никаких измеримых последствий, помимо тех, что уже

приняты во внимание.

Вот почему, даже не зная ничего о релятивистских законах движения или квантово-механическом описании атомных и субатомных систем, можно было делать точные предсказания. Это очень хорошо, ведь человек просто не в состоянии думать обо всем одновременно. Мы никогда ничего не добились бы, если бы не научились отбрасывать избыточные детали.

«Невозможные» явления могут иметь место, но лишь в средах, которые мы еще не наблюдали. Эти явления незначимы на известных нам масштабах – по крайней мере на масштабах уже исследованных. Происходящее на этих крошечных длинах будет скрыто от нас до тех пор, пока не изобретут инструменты, которые позволят все рассмотреть, или пока при помощи достаточно точных измерений не удастся определить лежащую в основе таких явлений закономерность по слабым эффектам, которые они вызывают на более крупных масштабах⁹.

Делая предсказания, ученые имеют право игнорировать объекты и явления, слишком мелкие для наблюдений. Дело не только в том, что невозможно выявить эффект от слишком мелких объектов и процессов; вообще, физические эффекты любых процессов в некотором масштабе интересны

⁹ Очевидный пример: радужную пленку на воде люди могли видеть и тысячу лет назад, но то, что она появляется вследствие волновой природы света, не имело практического значения. – *Прим. пер.*

лишь в той мере, в какой они влияют на физически измеримые параметры. Поэтому физики описывают объекты и свойства в каком-нибудь измеримом масштабе при помощи эффективной теории, а затем используют результаты в научных исследованиях в том масштабе, с которым имеют дело. Если подробности о малых расстояниях, или микроструктура теории, все же известны, можно вывести некоторые величины из более фундаментальных закономерностей строения материи. Если нет, эти величины считаются неизвестными и определяются экспериментально. Полученные величины более крупного масштаба в эффективной теории не позволяют фундаментально описать явление, но с их помощью удобно проводить наблюдения и делать предсказания.

Описание, сделанное в рамках эффективной теории, может суммировать следствия любого закона, справедливого для явлений в малом масштабе, который влияет и на явления более крупного масштаба, но слишком слабо для того, чтобы это можно было заметить. Таким образом, мы можем изучать и оценивать процессы с использованием меньшего числа параметров, чем потребовалось бы, если бы мы принимали во внимание все детали. Этого урезанного набора параметров вполне достаточно, чтобы описать интересующие нас процессы, и к тому же он *универсален* – параметры всегда одинаковы вне зависимости от масштаба явления. Чтобы определить их значение, нам достаточно просто измерить их в любом из множества процессов, в которых они фигуриру-

ют.

Важно, что эффективная теория действует на большом диапазоне длин и энергий. Поскольку несколько ее параметров были определены путем измерений, все, что относится к соответствующему ряду масштабов, можно без труда вычислить. Это дает нам набор элементов и правил, при помощи которых можно объяснить множество самых разных наблюдаемых явлений. В определенный момент теория, которую до той поры мы считали фундаментальной, оказывается всего лишь эффективной – ведь бесконечно малые измерения нам по-прежнему недоступны. Тем не менее мы доверяем этой теории, потому что она успешно предсказывает многие явления на целом ряде масштабов длин и энергий.

С помощью эффективной теории в физике можно не только справляться с информацией о явлениях, происходящих на малых масштабах, но и обобщать крупномасштабные эффекты, действие которых слишком слабо и недоступно для наблюдения. К примеру, наша Вселенная может быть чуть-чуть искривлена – так, как предсказывал Эйнштейн, когда разрабатывал свою теорию гравитации. Эта кривизна значима на больших расстояниях, где задействована крупномасштабная структура пространства. Но мы можем последовательно разобраться в том, почему эти эффекты кривизны слишком слабы и не отражаются в большинстве наблюдений и экспериментов, которые мы проводим на гораздо меньших масштабах. Рассмотрение подобных эффектов имеет смысл

для нас только в том случае, если мы включим в описание физики элементарных частиц гравитацию; по большей части они слишком слабы, чтобы проявляться в тех экспериментах, которые я буду описывать. Но и в этом случае подходящая эффективная теория скажет нам, как суммировать гравитационные эффекты и выразить их через несколько неизвестных параметров, которые придется определить экспериментально.

Одна из важнейших черт любой эффективной теории: она, описывая то, что мы можем увидеть, одновременно систематизирует то, что мы увидеть не можем – как на малых, так и на больших масштабах. Имея эффективную теорию, мы можем определить, насколько серьезно способен повлиять на каждое конкретное измерение неизвестный (или известный) фундаментальный закон. Даже не дожидаясь новых открытий в других масштабах, мы можем математически вычислить максимальную степень влияния, которое произведет любая новая структура на эффективную теорию в том масштабе, в котором мы работаем. В главе 12 мы подробнее рассмотрим еще одну особенность эффективной теории: ее подлинные ограничения можно понять только после того, как будут открыты физические законы следующего масштабного уровня.

Еще одним примером эффективной теории может служить термодинамика. Эта наука, появившаяся задолго до атомной или квантовой теории, объясняет нам, как работают

холодильники и автомобильные двигатели. Термодинамическое состояние системы достаточно хорошо характеризуется ее давлением, температурой и объемом. Конечно, сегодня мы знаем, что система состоит из газа, а тот – из атомов и молекул, в которых скрыта гораздо более тонкая структура, чем все, что можно описать при помощи трех упомянутых параметров; тем не менее во многих случаях для характеристики наблюдаемого поведения системы мы можем ограничиться ими тремя.

Температура, давление и объем – реальные величины, которые можно измерить. Теория зависимостей между ними полностью разработана и может быть использована для успешных предсказаний. В эффективной теории газа не упоминается молекулярная структура вещества (рис. 4). И хотя температура и давление газа в действительности определяются поведением образующих его элементов, ученые свободно использовали эти величины в расчетах задолго до того, как атомы и молекулы были открыты.

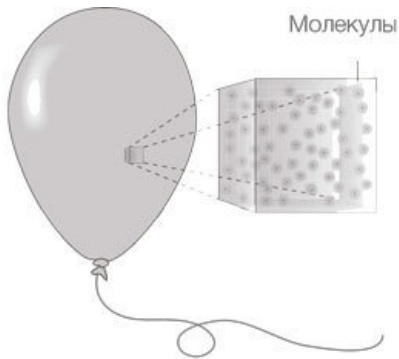


РИС. 4. На более фундаментальном уровне давление и температуру можно объяснить через физические свойства отдельных молекул

Если фундаментальная теория разработана, мы можем соотнести температуру и давление со свойствами составляющих газ атомов и понять, в какой момент термодинамическое описание перестанет соответствовать действительности. Мы по-прежнему можем использовать термодинамику для широкого круга предсказаний. Более того, многие явления можно понять только с термодинамической точки зрения, поскольку без громадных вычислительных мощностей и объемов памяти, намного превосходящих все, чем мы на данный момент располагаем, невозможно проследить траектории движения всех отдельно взятых атомов. Так что эффективная теория – единственный способ разобраться в некоторых важных физических явлениях, имеющих место в твердых и жидких *конденсированных средах*.

На этом примере можно продемонстрировать еще один принципиально важный аспект эффективной теории. Иногда физики используют термин «фундаментальный» как относительное понятие. С точки зрения термодинамики атомное и молекулярное описания фундаментальны. Но если говорить о физике элементарных частиц, которая рассматривает кварки и электроны внутри атомов, то сам атом тоже имеет сложную структуру и состоит из более мелких элементов. Таким образом, с точки зрения физики элементарных частиц разговор на уровне атомов возможен только в рамках эффективной теории.

Описание науки как строгой последовательности развития от полностью понятных областей к пределу человеческих знаний лучше всего подходит для таких наук, как физика и космология, где мы хорошо понимаем функциональные единицы и соотношения между ними. Вполне может быть, что в более новых областях науки, таких как системная биология, эффективные теории работать не будут. Здесь отношения между происходящим на молекулярном уровне и на более крупных макроскопических уровнях, а также релевантные механизмы обратных связей еще только предстоит понять до конца.

Тем не менее концепция эффективной теории применима к широкому кругу научных тем. Математические уравнения, в соответствии с которыми происходит эволюция биологического вида, не изменятся с появлением новых физических

результатов; эту тему мы обсуждали с математическим биологом Мартином Новаком. Он и его коллеги могут определить параметры этих уравнений независимо от любых более глубоких описаний. Вполне возможно, что на самом деле эти параметры определяются более базовыми величинами – физическими или какими-нибудь другими, – но сами по себе уравнения, по которым биологи отслеживают развитие популяций со временем, ни от чего не зависят.

В физике элементарных частиц без эффективных теорий не обойтись. Мы выделяем простые системы на разных масштабах и рассматриваем их взаимоотношения. Следует отметить, что пресловутая невидимость внутренней структуры частицы, из-за которой мы сосредоточиваемся на «видимых» величинах и не обращаем внимания на более фундаментальные эффекты, так замечательно скрывает внутренние взаимодействия, что для их обнаружения нам приходится тратить огромные деньги и прикладывать громадные усилия. Именно тот факт, что наиболее фундаментальные теории на доступных масштабах проявляются чрезвычайно слабо, делает современную физику такой сложной и затратной. Чтобы заметить проявления фундаментальной природы вещества и взаимодействия на этом уровне, мы должны либо непосредственно исследовать все более мелкие масштабы, либо проводить все более точные измерения. Только при помощи передовых технологий мы можем получить доступ к самым мелким и самым крупным линейным масштабам. По-

этому, чтобы хоть немного продвинуться вперед, нам приходится проводить сложнейшие эксперименты и строить гигантские сооружения, такие как Большой адронный коллайдер.

ФОТОНЫ И СВЕТ

Истории появления различных теорий света прекрасно демонстрируют, как по мере развития науки эффективные теории используются и сменяют друг друга, как одни идеи отбрасываются, а другие сохраняются и применяются в конкретной ограниченной области. Еще в Древней Греции человек начал изучать свет – тогда родилась геометрическая оптика. И сегодня это одна из тем, по которым сдает экзамены любой студент-физик. Эта теория предполагает, что свет движется по прямой, и позволяет определить, как ведут себя его лучи в различных средах и как их можно регистрировать и использовать.

Странно, что практически никто – по крайней мере в Гарварде, где я сегодня преподаю, а когда-то училась – не изучает классическую и геометрическую оптику. Может быть, ее немного преподают в школе, но, откровенно говоря, она и там не занимает существенного места в расписании.

Геометрическая оптика вышла из моды. Ее расцвет наступил несколько веков назад с появлением ньютоновой «Оптики» и продолжался в XIX в., когда Уильям Роуэн Гамильтон

впервые математически предсказал новый взгляд на природу оптических явлений.

Классическая теория оптики по-прежнему применяется в таких областях, как фотография, медицина, инженерное дело и астрономия, используется при изготовлении новых зеркал, телескопов и микроскопов. Специалисты по классической оптике и инженеры разрабатывают устройства для демонстрации различных физических явлений. Тем не менее все они лишь применяют оптику и не открывают никаких новых законов.

В 2009 г. мне было предоставлено почетное право прочесть так называемую гамильтоновскую лекцию в Университете Дублина, которую до меня читали несколько весьма уважаемых моих коллег. Она посвящена памяти сэра Уильяма Роуэна Гамильтона, замечательного ирландского математика и физика XIX в. Признаюсь, я настолько привыкла, что имя Гамильтона стало почти нарицательным в физике, что, как это ни смешно, поначалу даже не связала его с реальным человеком, к тому же ирландцем. Меня поразило, в каком множестве областей математики и физики, в том числе и в геометрической физике, Гамильтон совершил настоящий переворот.

День Гамильтона в Дублине празднуется очень широко. Торжественная процессия движется вдоль Королевского канала; затем все останавливаются на мосту Брум-бридж и наблюдают, как самый молодой участник процессии пишет те

самые уравнения, которые Гамильтон много лет назад, находясь в эйфории от собственного открытия, вырезал на перилах моста. Я побывала в знаменитой университетской обсерватории в Дунсинке, где жил Гамильтон, увидела систему блоков и деревянную раму, на которой 200 лет назад стоял телескоп. Гамильтон приехал в Дунсинк в 1827 г. после окончания Тринити-колледжа; он тогда получил кафедру астрономии и должность Королевского астронома Ирландии. Местные жители шутят, что Гамильтон, несмотря на выдающиеся математические таланты, не слишком разбирался в астрономии, да и не интересовался этой наукой; за ним числится множество научных достижений, но наблюдательная астрономия в Ирландии, возможно, как раз из-за Гамильтона отстала на полвека.

Тем не менее день Гамильтона – дань уважения этому великому теоретику и его многочисленным достижениям. Среди них – открытия в оптике и динамике, математическая теория кватернионов (обобщение комплексных чисел), а также достоверная демонстрация предсказательных возможностей математики и науки вообще. Открытие кватернионов стало настоящим прорывом. Кватернионы важны для векторного исчисления, которое является основой для математического изучения всех трехмерных явлений. Сегодня они используются еще в компьютерной графике и, следовательно, в индустрии развлечений и видеоигр. Всякий владелец PlayStation или Xbox в какой-то степени обязан Гамильтону.

Гамильтон внес серьезный вклад в оптику. В 1832 г. он показал, что в результате преломления света, падающего под определенным углом на кристалл с двумя независимыми осями симметрии, получается пустотелый световой конус. Исходя из этого он предсказал явления *внутренней* и *внешней* конической рефракции света в кристалле. Предсказание Гамильтона сумел проверить и подтвердить его друг и коллега Хэмфри Ллойд; это событие стало настоящим триумфом математической науки. Математическое предсказание никогда прежде не наблюдавшегося явления казалось в то время едва ли не чудом, и Гамильтон за свое достижение был возведен в рыцарское звание.

Дублинцы с гордостью рассказывали мне про это математическое достижение, сделанное средствами одной только геометрической оптики. Галилей был одним из пионеров наблюдательной и экспериментальной науки; Фрэнсис Бэкон – первым пропагандистом *индуктивного метода* в науке. Однако если говорить о математическом описании никогда прежде не наблюдавшегося явления, то гамильтоново предсказание конической рефракции, вероятно, было первым. Этого достаточно, чтобы обеспечить Гамильтону достойное место в истории науки.

Но сегодня, несмотря на все значение открытия Гамильтона, классическая геометрическая оптика уже не является объектом исследования. Все важные явления в этой области давно изучены. Вскоре после Гамильтона, в 1860-е гг., шот-

ландский ученый Джеймс Кларк Максвелл с коллегами разработали электромагнитную теорию света. Стало ясно, что геометрическая оптика – всего лишь приближенное описание явлений; тем не менее ее законы применимы для световых волн с достаточно маленькой длиной волны; для них эффекты интерференции незначимы, а движение можно считать прямолинейным. Иными словами, геометрическая оптика – это эффективная теория, применимая в определенных ограниченных условиях.

Это не означает, что в науке сохраняется всякая теория. Иногда она просто оказывается ошибочной. Примером может служить первая теория света, сформулированная Евклидом и в IX в. возрожденная в исламском мире арабским математиком аль-Кинди (в ней утверждалось, что свет испускают глаза человека). Несмотря на то что другие ученые, такие как персидский математик ибн-Саль, на основании этого ложного утверждения верно описывали явления (то же преломление, к примеру), теория Евклида и аль-Кинди – появившаяся, кстати говоря, раньше, чем наука и современные научные методы – оказалась попросту неверна. Она не вошла в позднейшие теории, а была отброшена.

Ньютон не предвидел появления новых концепций в теории света. Он выдвинул так называемую «корпускулярную» теорию, которая никак не согласовывалась с волновой теорией света, разработанной его соперниками – Робертом Гуком в 1664 г. и Христианом Гюйгенсом в 1690 г. Споры по

этому поводу продолжались не один десяток лет. Только в XIX в. Томас Юнг и Огюстен-Жан Френель измерили интерференцию света и тем самым подтвердили, что свет имеет волновую природу.

Позже развитие квантовой теории показало, что Ньютон в каком-то смысле тоже был прав. Согласно идеям квантовой механики, свет действительно состоит из отдельных частиц, получивших название *фотоны* и ответственных за передачу электромагнитного излучения. Но современная теория фотонов базируется на понятии квантов света – отдельных частиц, из которых состоит свет и которые обладают уникальными свойствами. Даже одна частица света – фотон – ведет себя, как волна. Эта волна определяет вероятность нахождения фотона в каждой конкретной точке пространства (рис. 5).

Геометрическая оптика

Свет движется по прямой

Волновая оптика

Свет ходит волнами

Фотоны

*Свет передается фотонами —
частицами, способными вести себя,
как волны*

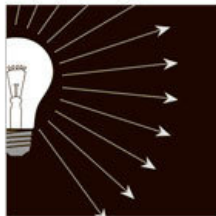
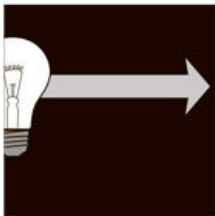


РИС. 5. Современной концепции света предшествовали геометрическая и волновая оптика. Они до сих применимы при определенных условиях

Корпускулярная теория света, предложенная Ньютоном, подтверждается наблюдаемыми результатами. Тем не менее ньютоновы частицы света не имеют волновой природы и потому совсем не похожи на фотоны. Насколько мы сегодня знаем, теория фотонов представляет собой самое фундаментальное и верное описание света – потока частиц, которые могут приобретать волновые свойства. В настоящее время базисное описание того, что представляет собой свет и как он себя ведет, дает квантовая механика. Эта теория фундаментально верна и останется в науке.

В настоящее время квантовая механика находится гораздо ближе к передовым областям научных исследований, нежели оптика. Если кто-то по-прежнему думает о новых открытиях в оптике, то имеет в виду в первую очередь новые

эффекты, возможные только в рамках квантовой механики. Современная наука уже не развивает классическую оптику, но, безусловно, включает в себя квантовую оптику, науку о квантово-механических свойствах света. Лазеры работают по законам квантовой механики; то же можно сказать и о детекторах света, таких как фотоумножители, и о фотоэлементах, превращающих солнечный свет в электричество.

Современная физика элементарных частиц включает в себя также теорию квантовой электродинамики (КЭД), разработанную Ричардом Фейнманом и другими учеными. В нее входят не только квантовая механика, но и специальная теория относительности. В КЭД мы занимаемся изучением отдельных частиц, в том числе фотонов – частиц света, а также электронов и других частиц, переносящих электрический заряд. Мы способны разобраться в скоростях, на которых взаимодействуют эти частицы и с которыми они могут создаваться и уничтожаться. КЭД – одна из тех теорий, которые очень активно используются в физике элементарных частиц. Кроме того, именно в ее рамках делаются самые достоверные научные предсказания. КЭД совершенно не похожа на геометрическую оптику, но обе эти теории верны, каждая в соответствующей области.

В каждой области физики имеется своя эффективная теория. По мере развития науки старые идеи уходят на второй план и становятся составной частью более фундаментальных теорий. Но передовые исследования в науке посвящены не

им. В конце этой главы мы рассмотрели конкретный пример – развитие физических представлений о природе света, но следует отметить, что таким образом развивается вся физика. На передовом крае науки развитие происходит неуверенно, но в целом методично. Эффективные теории в каждом конкретном масштабе игнорируют, как им и положено, те эффекты, которые не влияют ни на какие измерения. Знания и методы, обретенные в прошлом, остаются с нами, но, по мере того как мы начинаем осваивать более широкий спектр расстояний и энергий, теории получают новое развитие. Движение вперед позволяет нам разобраться в фундаментальной основе наблюдаемых явлений.

Понимание исторического пути развития науки помогает лучше понять ее природу и по достоинству оценить крупнейшие вопросы, которыми заняты сегодня физики (и другие ученые). В следующей главе мы увидим, что сегодняшние научные методы зародились еще в XVII в.

Глава 2

Раскрывая секреты

Методы, которыми пользуются сегодня ученые, – результат долгой истории измерений и наблюдений. С их помощью ученые уже несколько веков подтверждают – и, что не менее важно, отвергают – научные идеи и гипотезы.

Многие принципиальные открытия, сформировавшие науку, были сделаны в XVII в. в Италии, и одним из ключевых участников этого процесса был Галилео Галилей. Именно он одним из первых в полной мере оценил и начал развивать так называемые *непрямые измерения*, при которых используется некий промежуточный этап¹⁰; он же одним из первых начал для установления научной истины разрабатывать и проводить эксперименты. Более того, он изобрел абстрактные *мысленные эксперименты*, которые помогали ему формулировать научные гипотезы.

Я многое узнала об изобретениях и открытиях, сделанных Галилеем и самым серьезным образом изменивших науку, когда весной 2009 г. побывала в Падуе. Поводом к поездке послужила конференция по физике, организованная профессором физики Фабио Цвирнером. Был, правда, и еще

¹⁰ Искомая величина определяется через другую величину, измеряемую непосредственно. – *Прим. пер.*

один повод – получить почетное гражданство этого города. Было очень приятно встретиться как с коллегами – участниками конференции, так и с другими уважаемыми «гражданами», в числе которых – физики Стивен Вайнберг, Стивен Хокинг и Эд Виттен. Неожиданным бонусом оказалась возможность узнать кое-что из истории науки.

Мой визит пришелся на удачное время: в 2009 г. исполнялось 400 лет первым наблюдениям звездного неба, проведенным Галилеем. Граждане Падуи с особым энтузиазмом отмечали эту годовщину, поскольку во время проведения главных своих исследований Галилей читал лекции в Падуанском университете. В честь ученого Падуя (так же, как Пиза, Флоренция и Венеция – другие города, тесно связанные с научной жизнью Галилея) организовала выставки и различные церемонии. Конференция по физике проходила в зале Культурного центра Альтинате (или Сан-Гаэтано) – того самого здания, где располагалась выставка, знакомившая посетителей с открытиями Галилея и подчеркивавшая его роль в развитии науки и формировании ее современного облика.

Большинство людей, с которыми я тогда встречалась, высоко оценивали достижения Галилея и с энтузиазмом говорили об успехах современной науки. Интерес к физике и познания, проявленные мэром Падуи Флавио Дзанонато, произвели впечатление даже на местных физиков. Глава города не только участвовал в научном разговоре за торжественным обедом после прочитанной мной публичной лекции, но и на

самой лекции удивил аудиторию коварным вопросом о движении заряженных частиц в Большом адронном коллайдере.

В ходе церемонии присвоения звания почетного гражданина мэр вручил мне ключ от города. Это был фантастический ключ – он вполне соответствовал моим киношным представлениям о том, каким должен быть подобный предмет. Он был такой большой, резной и серебряный, что один из моих коллег даже спросил, не ключ ли это из сказки о Гарри Поттере. Это, конечно, церемониальный ключ – им невозможно ничего открыть. Но чудесный символ входа в город в моем воображении стал символом входа в необъятное царство знаний.

Кроме ключа, профессор Падуанского университета Массимила Бальдо-Чолин подарила мне венецианскую памятную медаль. На ней выгравирована цитата из Галилея, размещенная также над входом в здание физического факультета университета: «*Io stimo più il trovar un vero, benché di cosa leggiera, che 'ldisputar lungamente delle massime questioni senza conseguir verità nissuna*». Это переводится так: «Я предпочитаю найти истину в малом, нежели долго спорить о величайших вопросах, не обретая никакой истины».

Я процитировала эти слова коллегам на конференции, потому что в них и сегодня заключается ведущий принцип науки. Научные прорывы нередко вырастают из стремления решить несложные на первый взгляд проблемы (к этому утверждению мы вернемся позже). Не все вопросы, на которые мы

ищем и находим ответы, порождают радикальные перемены. И все же продвижение вперед, даже постепенное, периодически кардинально меняет восприятие человеком мира.

В этой главе рассказывается о том, что современные наблюдения, которым, собственно, посвящена эта книга, корнями уходят в научные открытия XVII в. и что фундаментальные достижения того времени в значительной мере определили природу теоретических и экспериментальных методов, используемых нами сегодня. Главные, принципиальные вопросы перед учеными и сегодня стоят в определенном смысле те же, что стояли 400 лет назад; однако физическая теория да и техника сегодня совсем не те, что тогда, поэтому мелкие конкретные вопросы изменились необыкновенно.

Вклад Галилея в науку

Ученые пытаются достучаться до небес и мечтают преодолеть порог, отделяющий познанное от непознанного. В любой момент, о каком бы ни шла речь, любое исследование начинается с набора правил и уравнений, предсказывающих те явления, которые мы на этот момент способны измерить. Но мы всегда стремимся перейти к режимам, которые до сих пор не удавалось протестировать экспериментально. Вооружившись новейшей техникой и математикой, мы начинаем систематически изучать вопросы, которые в прошлом бы-

ли лишь предметом ничем не подкрепленных рассуждений или веры. Чем больше максимально точных наблюдений у нас есть, чем определеннее теоретические рамки, в которые укладываются новые измерения, тем лучше и полнее мы понимаем окружающий мир.

После поездки в Падую и осмотра ее исторических достопримечательностей я в полной мере осознала, насколько важную роль сыграл Галилей в формировании такого способа мышления. Одна из самых знаменитых достопримечательностей Падуи – капелла Скровеньи с фресками Джотто начала XIV в. Эти изображения примечательны по многим причинам, но для ученого самым интересным, пожалуй, является необычайно реалистичное изображение пролета кометы Галлея 1301 г. в сцене поклонения волхвов (рис. 6). Это настоящее чудо! В то время, когда художник рисовал эту фреску, комету можно было видеть на небе невооруженным глазом.

Но эти изображения еще не были корректными с научной точки зрения. Девушка-гид показала мне Млечный путь на астрологических фресках Палаццо делла Раджоне (по крайней мере, ее учили, что это именно Млечный путь). Однако более опытный гид позже объяснил ей, что такая трактовка изображения неверна и не соответствует времени создания фрески. В те времена люди просто рисовали то, что видели. Вероятно, художник хотел изобразить звездное небо ясной ночью, но не имел в виду ничего определенного вроде нашей

Галактики. Науки в современном понимании еще не было.



РИС. 6. Джотто изобразил эту сцену на стене капеллы Скровеньи в начале XIV в., когда комета Галлея была видна невооруженным глазом

До Галилея наука полагалась только на непосредственные наблюдения и чистые размышления. Образцом для всех желающих разобраться в устройстве мира служила аристотелева наука. Математику можно было использовать для дальнейших умозаключений, но базовые положения принимались на веру или со ссылкой на прямые наблюдения.

Галилей открыто отказался опираться в своих исследованиях на *mondo di carta* (мир бумаги); напротив, он хотел чи-

тать и изучать *libro della natura* (книгу природы). Он не только изменил методологию наблюдений; мало того, он едва ли не первым признал огромные возможности эксперимента. Галилей понял, как следует создавать искусственные условия для выявления природы физических законов. Галилей научился при помощи эксперимента проверять гипотезы о законах природы, доказывать и, что не менее важно, опровергать их.

В частности, Галилей проводил эксперименты с наклонными плоскостями – наклоненными ровными поверхностями, которые так часто встречаются, раздражая учащихся, в любом начальном курсе физики. Для Галилея наклонная плоскость не была всего лишь надуманной школьной задачей, каковой она иногда кажется школьникам. Это был способ изучить скорость падающих тел: ведь если «растянуть» спуск объекта на некоторое горизонтальное расстояние, можно будет точно измерить, как он «падает». Время он измерял при помощи водяного хронометра; но этого мало: Галилей придумал хитроумную систему колокольчиков, развешанных на определенных расстояниях друг от друга, и мог определять скорость катящегося вниз шарика на слух (рис. 7), а слух у него был отличный. При помощи этого и других экспериментов в области движения и силы тяжести Галилей вместе с Иоганном Кеплером и Рене Декартом подготовил фундамент для законов классической механики, которые развил Исаак Ньютон.

Галилей сумел выйти за пределы непосредственных наблюдений. Он придумал мысленные эксперименты – абстракции, основанные на увиденном, – при помощи которых можно было делать предсказания о ходе экспериментов, которые никто в то время не мог в реальности поставить. Возможно, самое знаменитое из его предсказаний говорит о том, что все объекты при отсутствии сопротивления падают с одинаковой скоростью. Он не мог реализовать эту идеализованную ситуацию, но предсказал, что произойдет. Галилей понимал, какую роль при падении предметов на землю играет тяготение, как и то, что сопротивление воздуха замедляет их движение. Качественная наука означает учет всех факторов, которые могут повлиять на то или иное измерение. Мысленные эксперименты и настоящие физические опыты помогли ученому лучше понять природу тяготения.

Число колокольчиков на единицу времени

1-я группа

2-я группа

3-я группа

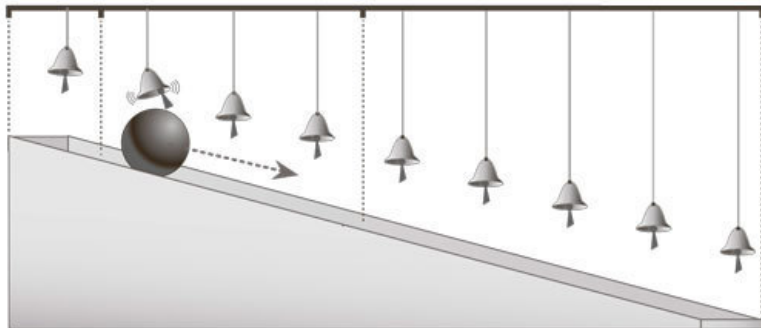


РИС. 7. При помощи колокольчиков Галилей измерял скорость движения шарика по наклонной плоскости

В истории нередко случайные совпадения. Так, Ньютон – один из величайших ученых, которому предстояло продолжить и развить научную традицию Галилея – родился в год его смерти. (На одном из своих семинаров Стивен Хокинг порадовался тому, что сам он родился ровно три века спустя.) Ученые нашего времени, в каком бы году им ни довелось родиться, продолжают галилееву традицию: разрабатывают реальные или мысленные эксперименты, анализируют их ограничения и интерпретируют полученные данные. Конечно, эксперименты в наши дни гораздо сложнее, да и техника используется гораздо более изощренная, но мысль о том, что для подтверждения или опровержения сделанных на базе новой научной гипотезы предсказаний следует по-

строить установку и провести эксперимент, и сегодня определяет природу науки и ее методов.

Но эксперименты – искусственные ситуации, создаваемые для проверки гипотез, – не единственное новшество, которое Галилей внес в науку. Помимо этого он, возможно, первым понял, что наблюдать окружающий мир – Вселенную – следует, применяя технические новшества. Эксперименты помогли ему выйти за рамки чистых рассуждений, а технические приспособления многократно расширили поле непосредственных наблюдений.

До Галилея наука полагалась прежде всего на прямые непосредственные наблюдения: человек воспринимал объекты при помощи органов чувств – видел их или, к примеру, трогал – без каких бы то ни было устройств, которые в какой-то мере изменяли образ исследуемого объекта. Тихо Браге, открывший, помимо прочего, сверхновую звезду и точно измеривший положения планет, работал раньше Галилея; последние из его знаменитых астрономических наблюдений сделаны до того, как Галилей появился на научной сцене. Браге пользовался точными измерительными инструментами, такими как большие квадранты, секстанты и армиллярные сферы. Мало того, он разработал и оплатил изготовление самых точных на тот момент инструментов; именно они позволили астроному провести измерения, на базе которых Кеплер смог прийти к выводу об эллиптических орбитах. Тем не менее все измерения Браге проводил, наблю-

дая небо невооруженным глазом, без каких бы то ни было линз или других устройств.

Следует отметить, что Галилей обладал тренированным глазом художника и абсолютным музыкальным слухом – он был сыном музыканта. Тем не менее он понял, что при помощи технических приспособлений можно многократно увеличить и без того неплохие наблюдательные возможности. Галилей считал, что непрямые наблюдения, сделанные при помощи специальных инструментов и на больших расстояниях, дадут ему гораздо больше, чем просто взгляд невооруженным глазом.

Сегодня всем известно, что Галилей первым взглянул на звезды через телескоп. Этот инструмент изменил подход человечества к науке, изменил наш взгляд на Вселенную и на самих себя. Но Галилей вовсе не был изобретателем телескопа. Это устройство придумал в 1608 г. в Нидерландах Ханс Липперсгей, но голландец пользовался им для наблюдения за людьми (отсюда и второе название подзорной трубы: *spyglass*

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.