

Джон Баттерворт

КАРТА
НЕЗРИМОГО

ВОСЕМЬ ПУТЕШЕСТВИЙ
ПО ФИЗИКЕ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ
ЧАСТИЦ



Издательство АСТ
Москва

УДК 539.123
ББК 22.386
Б28

Перевод оригинального издания:
John Butterworth
A Map of the Invisible
Journeys into Particle Physics

Перевод с английского *Ольги Сажиной*

Баттерворт, Джон.

Б28 Карта незримого. Восемь путешествий по физике элементарных частиц / Д. Баттерворт; [пер. с англ. О.С. Сажиной]. — Москва : Издательство АСТ, 2018. — 304 с.: ил. — (Лекторий. Как устроен мир).

ISBN 978-5-17-107351-0

Из чего состоит Вселенная? Какой неделимый далее элемент лежит в ее основе? Последние 60 лет ученые со всего света стремятся установить, какие частицы материи следует считать фундаментальными, и описать те силы, которые определяют их поведение. Общими усилиями удалось создать стандартную модель элементарных частиц, из которых и состоит все вокруг нас. В 2012 году был открыт бозон Хиггса, и карта стала более точной, хотя на ней и наметились новые загадочные просторы.

«Карта незримого» — путеводитель по стандартной модели и туманным землям физики объектов, недоступных человеческому глазу. Читатель, сжавшись до размеров субатомной частицы, последовательно открывает атомы, кварки, электроны и нейтрино, а также законы, которым те подчиняются. Это путешествие в мир странного и одновременно удивительного — безграничного космоса, черных дыр, темной материи, и дальше — к границам человеческого познания.

УДК 539.123
ББК 22.386

ISBN 978-5-17-107351-0

© Литературное агентство *Diane Banks Associates*, 2018

© Перевод на русский язык, оформление.
ООО «Издательство АСТ», 2018

Как читать карты

Все карты в этой книге следует рассматривать не как наглядные иллюстрации к физике элементарных частиц, а скорее, как заметки для памяти. Выдержано приблизительное направление от меньших энергий к бóльшим (и уменьшения характерных масштабов) с запада на восток, а также рост «много-составности» с юга на север. На картах есть промежуточные зоны и неопределенности. Энергетическая шкала показывает иногда изменение энергии, иногда — изменение массы, и даже при таком гибком подходе неизбежны несоответствия в общей картине. Так, например, фотон проживает в Бозонии на востоке, хотя его присутствие ощущается и далеко на западе. Тау-лептон и мюон должны быть, скорее, на востоке, а чтобы добраться до кварков, нужно пересечь земли Лямбда-КХД. Аллегии и аналогии помогают понять структуру мира частиц, но могут ввести и в заблуждение, если ими слишком увлечься. Одним словом, путешествуйте с удовольствием, но каждый шаг совершайте с осторожностью.

Пролог

Путешествие начинается

Проведем мысленный эксперимент. Возьмем яблоко и разрежем его пополам, потом разрежем пополам полученные половинки и продолжим делить каждый новый кусочек на две равные части. Чем завершится такой процесс?

Следующий мысленный эксперимент, менее деструктивный: попытаемся взглянуть в яблоко. Какая структура нам откроется? Состоит ли яблоко из небольшого набора элементов — назовем их атомами, — организованных разными способами? Если так, то что произойдет, если еще внимательнее присмотреться к этим элементам? Состоят ли они сами из еще более мелких частей?

В итоге нашего мысленного эксперимента перед нами откроется целый мир, населенный странными и удивительными частицами. В нем связаны между собой запутанными сетями острова сложности, погруженные в океан нашего незнания. Этот мир начинается у порога обыденной жизни — например, с простого яблока, — и простирается до неизведанных границ бесконечно малых величин.

Путь от яблока к невероятно крошечным масштабам лежит через океан. Нам понадобится корабль, а еще искусство работы с микроскопами, ускорите-

лями и другими приборами, которые смогут расширить возможности наших невооруженных глаз и позволят проникнуть в самое сердце атома — и даже еще глубже. Как далеко мы сможем уплыть? Есть ли граница у загадочного мира? Существуют ли неделимые частицы, фундаментальные кирпичики для всего остального, или наше путешествие в глубь вещества продлится вечно? Будем ли мы обнаруживать все более крошечные элементы материи по мере нашего продвижения на восток?

Вопросы, которыми мы задаемся, обсуждались тысячелетиями, а ответы на них лежат в основе одного из краеугольных камней физики. Ответы — насколько они нам известны — живут в странном, невидимом мире. В нашей книге мы исследуем этот мир и составим его подробную карту.

Название игры

Наука, занятая изучением крошечных составляющих материи, называется физикой частиц. Это не самое подходящее название, потому что в ряде случаев оно приводит к недопониманию.

Слово «частица» может иногда вводить в заблуждение. Физики изучают частицы песка, пыли — в пространстве и атмосфере — или какие-то другие небольшие скопления вещества, которые не имеют ничего общего с микроскопическими базовыми составляющими материи.

Иногда физику частиц называют физикой элементарных частиц, чтобы разграничить область ее ис-

следований и вотчину физики, которая изучает составные (композитные) части вещества. Однако и эта терминология не всегда помогает, потому что, к примеру, протоны и нейтроны — важнейшие крошечные «обитатели» мира частиц — не являются элементарными. Более того, в какой-то момент мы можем обнаружить, что фундаментальные частицы современных теорий тоже не элементарны, хотя ими определенно занимается именно физика частиц. Термин «физика элементарных частиц» отвергается как университетскими курсами, так и научно-исследовательскими коллективами, потому что он дает иллюзорное представление о легкости предмета изучения. Так, поступающий на одноименный курс студент может быть очень удивлен, столкнувшись с уравнениями, описывающими поиск новых частиц.

Другой раздел физики — физика высоких энергий — стал широко использоваться как альтернатива для понимания сущности предмета изучения. Действительно, непосредственный метод изучения частиц заключается в том, чтобы дробить вещество в гигантских коллайдерах и смотреть, что получится, а подобные исследования требуют очень больших энергетических затрат. Однако некоторые ключевые эксперименты нацелены на поиски очень-очень редких частиц с очень-очень низкими энергиями. Для них ученые прячут детекторы глубоко под землей, чтобы избавиться от слабейших шумов. Даже малейшие дрожания со сверхнизкими энергиями служат причиной возмущений системы. Косвенно подобные эксперименты могут указать на свойства процессов,

которые происходят при высоких энергиях, однако называть их физикой высоких энергий кажется мне неуместным.

Другая проблема с термином «физика высоких энергий» заключается в том, что физики-ядерщики, астрофизики, специалисты по физике плазмы и многие другие ученые в своих исследованиях имеют дело с энергиями гораздо большими, чем предельные энергии, достигаемые в физике частиц. Энергии столкновения [протонных пучков] в Большом адронном коллайдере (*LHC*, ЦЕРН), который на момент написания этой книги является самым высокоэнергетичным коллайдером из когда-либо созданных, очень незначительны по сравнению с энергией, высвобождаемой при работе ядерного реактора, чья энергия, в свою очередь, ничтожна в сравнении с энергиями взрывающихся звезд.

Как бы мы ни называли предмет нашего интереса, он все равно лежит в сфере практических исследований и, следовательно, свободен от каких бы то ни было форм спекулятивной философии. Исследования начинаются с того, что доступно человеческому глазу, затем — микроскопу и, наконец, мощным ускорителям частиц и другим точным инструментам. Каждое новое поколение экспериментов открывает для человека новые уголки таинственного мира сверхмалых масштабов и позволяет создавать карты, чтобы лучше ориентироваться на пути в глубины материи.

Но в конце концов закономерно возникает вечный вопрос: из чего в действительности состоит Вселенная, если пытаться добраться до ее основ?

Стандартная модель

Ответы на все вопросы — по крайней мере, в нашем текущем понимании того, что мы хотим спросить, — запряваны в теорию со скромным названием «стандартная модель». Эта теория обобщает современное состояние наших знаний о фундаментальных силах и составляющих вещества — раздел науки, в общем виде известный как *физика частиц*. Эта теория (в действительности стандартная модель — больше теория, чем собственно модель, хотя сам термин для разных людей означает разное) есть результат многолетней работы и исследований, успешно описывающий широкий круг физических явлений.

Автор этой книги вырос в Рашхолме, районе южного Манчестера, в той его части, где находится *Curry Mile* с огромным количеством азиатских ресторанов и закусочных. Во времена моего детства в названиях индийских и пакистанских заведений часто встречалось слово «стандартный», что означало питание по стандарту тандури¹ или другим кулинарным стандартам, которые для *Curry Mile* были чрезвычайно высокими. К этим стандартам должен был стремиться любой хороший ресторан. Я думаю, что стандартная модель подразумевает что-то в этом роде. Другими словами, такое скромное название должно символизировать знак высокого качества. Любая новая теория должна иметь высокий стандарт.

¹ *Тандури* — смесь пряностей, используемая в индийской кулинарии. — *Прим. перев.*

Примером мощи стандартной модели может служить открытие в 2012 году бозона Хиггса, который давно предсказывала эта теория. Бозон Хиггса — новый вид объектов, беспрецедентный по своей природе. Он необходим для математической согласованности всей теории. Пока ограничимся тем, что открытие бозона Хиггса стало уникальным доказательством фундаментальных идей, лежащих в основе стандартной модели. Важно то, что теперь ученые получили самосогласованную теорию, в которой самые маленькие объекты действительно бесконечно малы. Стандартная модель способна описывать физические явления, происходящие в огромном диапазоне энергий и расстояний, и этот диапазон был значительно расширен открытием бозона Хиггса.

Идеи, лежащие в основе стандартной модели, элегантны и математически строги. Кроме того, учитывая огромное количество наблюдений, которые может описать эта теория, она на удивление лаконична и проста. Каждая отдельная концепция, входящая в стандартную модель, может быть легко воспринята на понятийном уровне даже неспециалистами. Однако существует несколько важных и не очень очевидных идей, которые помогают в создании общей картины и объясняют, как все концепции связаны между собой. Создание общей картины — это сложная задача.

Стандартная модель неизбежно динамична. Она должна уметь подстраиваться под новые данные. Однако такая гибкость не меняет каркаса этой теории, не влияет на ее эффективность в описании ши-

рочайшего спектра данных. Эта теория, несомненно, содержит истину — просто пока еще не всю.

Эта книга — поиск истины. Или, во всяком случае, поиск такого количества истины, которое мы в состоянии постичь.

Поиск будет состоять из восьми (быть может, восьми с половиной) экспедиций в самое сердце материальной Вселенной. В результате этих взаимодополняющих экспедиций мы выявим и исследуем мельчайшие составляющие вещества, изучим их поведение (а часто они ведут себя, надо сказать, довольно странно), а еще определим силы, связывающие и разрушающие их. Это история нашего мира и нашей Вселенной. Именно из этих «строительных кирпичиков» состоит наша повседневная жизнь, а также звезды и галактики.

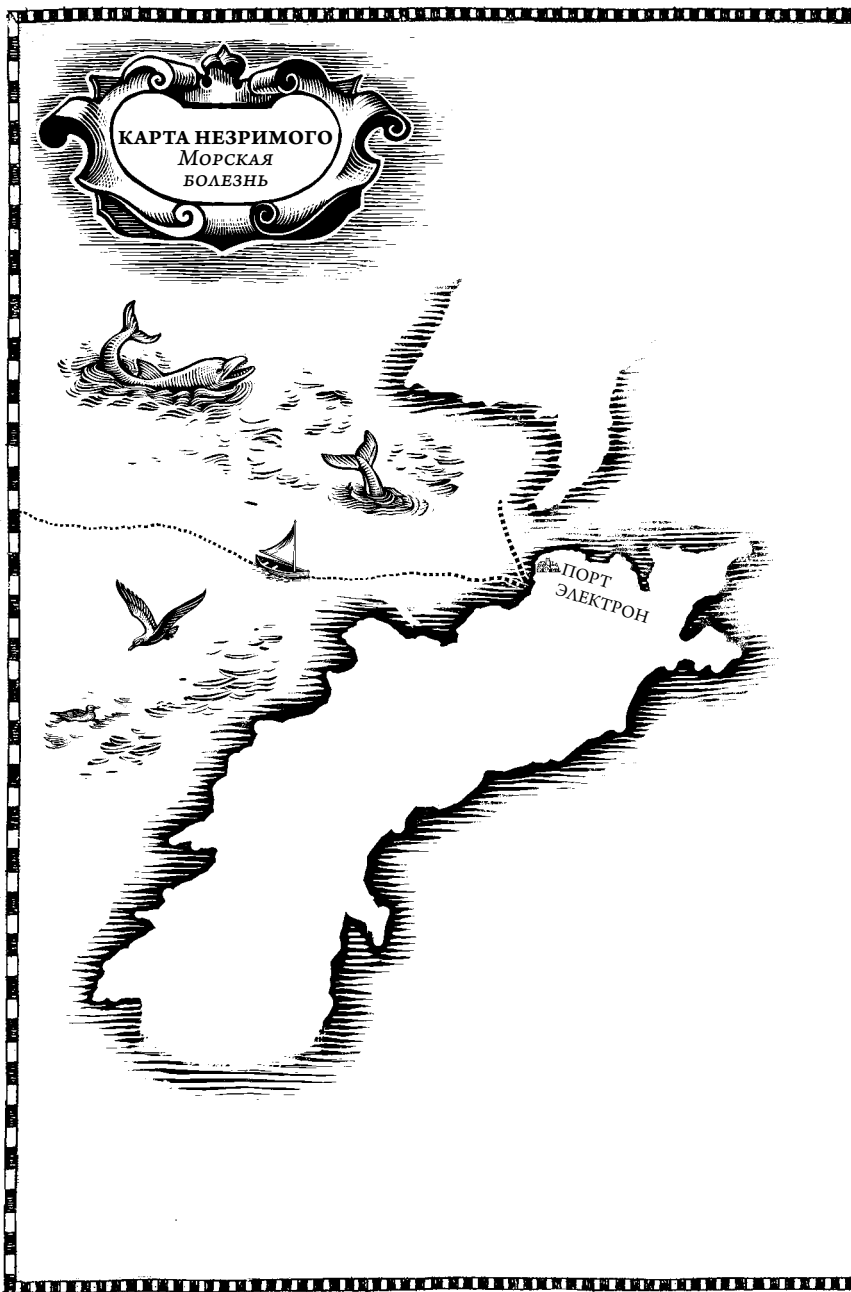
Исследуя новые территории, пограничные с известной нам физикой, мы дадим имена новым землям и изучим их взаимное расположение. Для кварков, бозонов, адронов и других частиц составим своего рода иллюстрированный глоссарий, что поможет лучше понять основополагающие идеи стандартной модели. Иногда может показаться, что свойства частиц, с которыми мы столкнемся, произвольны, но это лишь станет доказательством гибкости стандартной модели. Совокупность глубокой физической сущности одних свойств и произвола других и порождает теорию, по элегантности и лаконичности превосходящую все предыдущие модели элементарных частиц.

Прежде чем отправиться в путешествие, заметим, что оно — лишь один из возможных путей к грани-

цам научных познаний. Наш подход будет заключаться в упрощении, редукции, и мы хорошо понимаем, что он не раскроет нам до конца глубинную сущность вещества. Даже за кадром так называемой «теории всего» осталось бы много неизвестного. Какие бы крошечные компоненты ни выявила физика частиц, мы знаем, что их взаимодействия (и поведение больших ансамблей таких частиц) демонстрируют глубокие основополагающие принципы и сложное поведение, которые не являются очевидным следствием так называемых фундаментальных законов. Происходит рождение новой физики (не говоря уже о химии, биологии и других разделах науки). Важно исследовать структуру вещества на самых маленьких доступных нам масштабах — это, безусловно, одна из самых захватывающих перспектив при достижении научных рубежей. Именно к этим рубежам мы с вами и отправимся. Карты, которые мы начертим, укажут на некоторые поразительные и четкие принципы Природы, действующие повсюду, а не только в физике частиц.

Как у любой карты, у наших карт тоже будут границы. Быть может, стандартная модель и самодостаточна, но наше понимание физики не будет полным никогда. В конце концов, наше путешествие может завести нас в неизвестность, где в глубоководной бездне таятся подводные монстры, от истины отвлекают сладкозвучные сирены, но где могут найтись ответы на возникающие у нас вопросы.

Путешествие I



МОРСКАЯ БОЛЕЗНЬ



Лодка и то, из чего она сделана.



Чайки, дельфины и интерференция.



Урок лоцмана.



Нетерпеливый экипаж готов к бунту.



*Лоцман продвигается дальше и дальше,
используя лазеры.*



Экипаж убеждается в правоте лоцмана.



Чужеродное поле.



*Короткие расстояния, высокие энергии
и связь между ними.*



Как важно выбрать путь

I. Ставим парус

Получив в свое распоряжение небольшое, но быстроходное судно, набрав команду профессиональных физиков и любознательных дилетантов, мы отчалили. Наши трюмы были наполнены провизией и научным оборудованием. Не забыли мы и гитару. Цель нашего плавания — проверить некоторые теории, и поэтому нам нужны экспериментальные данные. На пути в далекие страны мы надеемся, как некогда надеялся и Чарльз Дарвин, отправляясь в кругосветное путешествие на небольшом бриге «Бигль», отыскать все, что нам потребуется.

Мы следуем с запада на восток. На нашей карте западные границы — это объекты привычного нам повседневного масштаба. Продвигаясь на восток, мы будем... уменьшаться, нацелив наше судно в самое сердце материи и нанося все увиденное, стремящееся к бесконечно малому, на карту.

Большинство предметов сделаны из более мелких вещей. Наша лодка изготовлена из дерева, металла и стеклопластика. Не составит труда обнаружить составляющие этих материалов: щепки, стекловолокно, пластик. Нити стекловолокна толщиной с хлопковую нить сделаны из кремнезема. Каждая из таких нитей состоит из атомов кремния, соединенных с атомами кислорода (два атома кислорода на один атом кремния — диоксид кремния). Атом кремния в миллиард раз