

УДК 530
ББК 22.31
К48

Brian Clegg
CRACKING QUANTUM PHYSICS

First published in Great Britain in 2017 by Cassell, a division of Octopus Publishing Group Ltd

Carmelite House, 50 Victoria Embankment London EC4Y 0DZ
www.octopusbooks.co.uk

Edited and designed by Whitefox
All rights reserved.

Brian Clegg asserts the moral right to be identified as the author of this work.
Печатается с разрешения издательства Octopus Publishing Group Ltd.

Все права защищены. Нарушение прав автора, правообладателя, лицензиара влечет привлечение виновных к ответственности

В оформлении книги использованы иллюстрации
iStock.com, Shutterstock.com, Geoff Borin, Emilio Segre Visual Archives/American
Institute of Physics/Science Photo Library и др.

Клегг, Б.

К48 Взламывающая квантовую физику / Брайан Клегг ; пер. с англ.
Н. Д. Уткин. — Москва : Издательство АСТ, 2019. — 304 с. —
(Взламывающая науку).

ISBN 978-5-17-111910-2

Квантовая физика по праву считается сложной наукой: в ее уравнениях и вправду трудно разобраться. Вместе с тем основные квантовомеханические принципы легко понять. А поняв их, можно разгадать устройство и принцип работы смартфонов, лазеров, телевидения и МРТ-сканеров, осмыслить молекулярную биологию, современную генетику и многие другие области знания.

Эта книга — проводник в удивительный мир субатомной физики, который познакомит с основами одной из самых таинственных наук современности.

УДК 530
ББК 22.31

ISBN 978-5-17-111910-2 (рус.)
ISBN 978-1-84403-949-4 (англ.)

© Creativity Unleashed Limited 2017
© Оформление.
ООО «Издательство АСТ», 2019

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|---|-----------|
| Введение | 6 |
| Раздел 1. Неделимый | 9 |
| Природа всего | 10 |
| О стихиях | 12 |
| Атомисты | 14 |
| Тайна света | 16 |
| Опыт Юнга | 20 |
| Волны эфира | 22 |
| Электричество | 24 |
| Магнетизм | 26 |
| Серебряный молот Максвелла | 30 |
| Конец эфира | 32 |
| Раздел 2. Внутри атома | 35 |
| Элементы Дальтона | 36 |
| Электрон | 38 |
| Атом Броуна | 40 |
| Рождественский пудинг | 42 |
| Папиросная бумага Резерфорда | 44 |
| Миниатюрная Солнечная система | 46 |
| Объясненные элементы | 48 |
| Тайна изотопов | 50 |
| Нейтроны спешат на помощь | 52 |
| Расщепляя атом | 54 |
| Цепные реакции | 56 |
| Молодое Солнце | 58 |
| Фантастическое слияние | 60 |
| Раздел 3. Предотвращенная катастрофа | 63 |
| Небольшая проблема | 64 |
| Фотоэлектрический эффект | 70 |
| Радикальное предложение Эйнштейна | 72 |
| Бор исправляет атом | 74 |
| Квантовый скачок | 76 |
| Частица и волна | 78 |
| Снова о двух щелях | 80 |
| Волны материи | 82 |
| Атомные волны | 84 |

| | |
|--|------------|
| Раздел 4. Квантовая реальность | 87 |
| Матричная механика | 88 |
| Уравнение Шрёдингера | 90 |
| Сапожник Эйнштейн. | 96 |
| Принцип неопределенности | 98 |
| Тот самый кот | 100 |
| В двух местах одновременно? | 102 |
| Копенгагенская интерпретация | 104 |
| Волна-пилот | 106 |
| Декогеренция | 108 |
| Другие миры | 110 |
| Квантовое туннелирование | 112 |
| Быстрее света | 114 |
| Раздел 5. Квантовая электродинамика | 117 |
| Выручающий принцип Паули | 118 |
| Дирак и теория относительности | 120 |
| Поля повсюду | 126 |
| Квантовая электродинамика | 128 |
| Поляризация | 136 |
| Путешественники во времени | 138 |
| Опережающий и запаздывающий свет | 140 |
| Амплитуды | 142 |
| Раздел 6. Запутанная сеть | 145 |
| Квантовое вращение | 146 |
| Тайна окон | 148 |
| Светоделители | 150 |
| Задачи Эйнштейна | 152 |
| ЭПР | 154 |
| Мгновенная передача | 162 |
| Квантовое шифрование | 164 |
| Квантовая телепортация | 168 |
| Квантовый эффект Зенона | 170 |
| Раздел 7. Золотой стандарт | 173 |
| Антивещество повсюду | 174 |
| Ускорители и коллайдеры | 176 |
| Частицы из космоса | 178 |
| «Зоопарк» частиц | 180 |
| Принципы симметрии | 182 |
| Великие превращения нейтрино | 188 |
| Стандартная модель | 190 |
| Почему у частиц есть масса? | 192 |
| Суперсимметрия | 198 |
| Темная материя | 200 |

| | |
|---|------------|
| Раздел 8. Квантовые сюрпризы | 205 |
| Природа не терпит пустоты | 206 |
| Абсолютный нуль | 210 |
| Сверхпроводники | 212 |
| Сверхтекучие жидкости | 216 |
| Конденсаты Бозе — Эйнштейна | 218 |
| Макро- и микромиры | 224 |
| Квантовые энзимы | 226 |
| Туннелирование ДНК | 228 |
| Фотосинтез | 230 |
| Ведение голубя | 232 |
| | |
| Раздел 9. Квантовая жизнь | 235 |
| Квантовое повсюду | 236 |
| Неожиданно квантовое. | 238 |
| Трубки Крукса | 240 |
| Электроника | 242 |
| Радиолампа | 244 |
| Полупроводники | 246 |
| Транзистор | 248 |
| Все в одном. | 250 |
| Изобретение лазера | 252 |
| МРТ-сканеры | 260 |
| Летающие поезда | 262 |
| Флеш-память | 264 |
| Квантовая фотография | 266 |
| Джозефсоновские соединения и СКВИДы | 268 |
| Квантовая оптика | 270 |
| Квантовые точки | 272 |
| Кубиты | 274 |
| Квантовые компьютеры | 276 |
| | |
| Раздел 10. Квантовая Вселенная | 279 |
| Квантовая теория Вселенной | 280 |
| Никаких теорий всего | 282 |
| Большой взрыв | 284 |
| Черные дыры | 286 |
| Квантовая гравитация | 288 |
| Гравитационные волны | 290 |
| Гравитон | 294 |
| Теория струн | 296 |
| Другие измерения | 298 |
| M-теория | 300 |
| Петлевая квантовая гравитация | 302 |

ВВЕДЕНИЕ

Квантовая физика интригует, потому что она содержит в своей основе некоторую тайну. Эта фундаментальная область науки описывает поведение атомов и субатомных частиц, которые составляют материю, заодно и объясняя неуловимое, но важное явление света. Она лежит в основе электричества и магнетизма, как и большинства ключевых открытий XX и XXI вв. В то же время квантовая физика описывает мир, в котором происходят совершенно невероятные события.

Очень просто считать частицы вроде электронов маленькими шариками. Мы знаем наверняка, что произойдет с обычным мячом при броске, если учитывать все особенности места, в котором он находится. Таинственность квантового мира связана именно с отсутствием определенности. К ужасу некоторых из первых создателей квантовой теории, в особенности Альберта Эйнштейна, уравнение, описывающее положение частицы через определенный промежуток времени, имеет дело лишь с вероятностью. Мы не можем точно сказать, где она будет через 10 секунд, — возможно лишь найти вероятность обнаружения ее в различных местах. И до того момента, когда мы на самом деле найдем частицу, есть только вероятность. На квантовом уровне подобная неопределенность имеет место для многих других характеристик объектов.

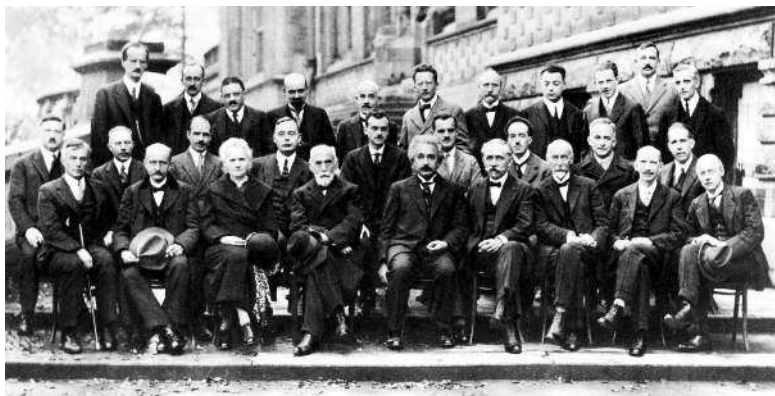
Сравним эти частицы с нормальным объектом, которым, на первый взгляд, тоже управляет вероятность, например с монетой. Если мы подбрасываем монету, существует шанс 50 на 50 получить в результате «орла» или «решку». Однако после того как монета упала, даже если мы на нее не смотрим, она обращена к нам только одной стороной. В квантовом эквиваленте существует только вероятность 50 на 50 до того момента, когда частица вступит во взаимодействие с миром вокруг нее. Когда корифеи квантовой физики встретились на Сольвеевском конгрессе в 1927 г., это явление стало предметом жарких споров между участниками. Одни ученые, например Альберт

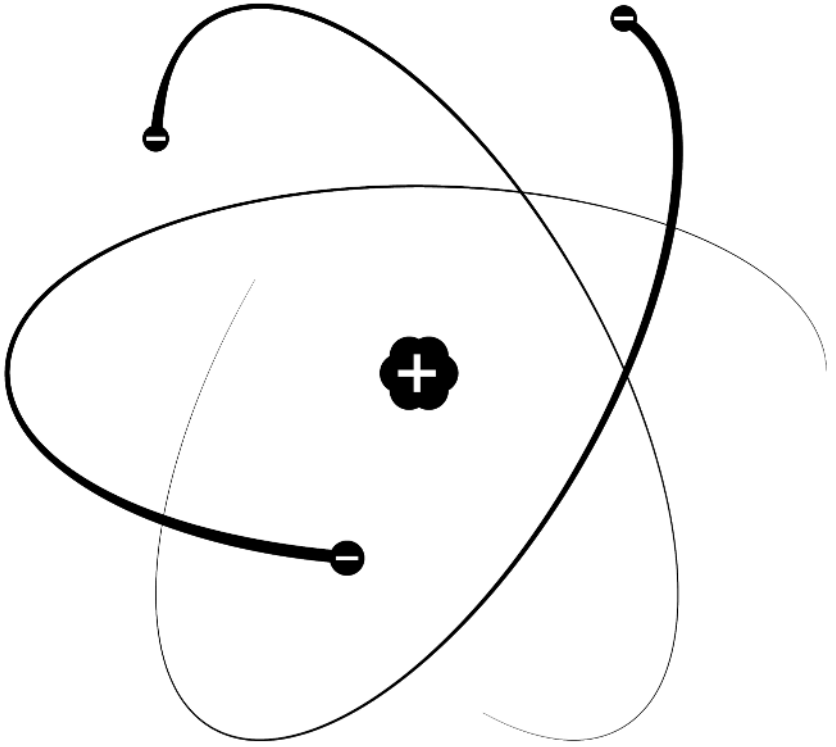
Эйнштейн и Эрвин Шрёдингер, были убеждены в существовании чего-то, лежащего в основе всех явлений, чего-то, что было в большей степени «реальным» и не зависящим от вероятности. Другие, в число которых входили Нильс Бор и Вернер Гейзенберг, не видели никакой необходимости в такой реальности. И оказалось, что именно Бор и Гейзенберг были правы.

Все обсуждаемое здесь может показаться по-философски изощренным. Но все же мир вокруг нас и вещи в нем ведут себя так, как мы ожидаем, несмотря на то, что они состоят из квантовых частиц. Так важно ли на самом деле то, что происходит на квантовом уровне? Однозначно да! Именно это таинственное поведение объектов микромира дает возможность атомам существовать, а Солнцу — светить, оно же лежит в основе большинства технических средств, которые мы используем сегодня, — от смартфонов до лазеров и магнитно-резонансных томографов.

У квантовой физики есть репутация сложной, и математика, лежащая в ее основе, действительно непроста. Но основные концепции легки для понимания и весьма важны, если мы хотим разобраться в мире вокруг нас, основанном на квантовых явлениях. Перед тем как мы пойдем на решительный шаг, стоит, однако, выяснить, откуда эти концепции пришли. Для этого необходимо обратить взгляд назад и посмотреть, как развивались наши представления о веществе и свете.

В 1927 г. Сольвеевский конгресс собрал вместе всех основателей квантовой физики.





РАЗДЕЛ 1

НЕДЕЛИМЬІ

ПРИРОДА ВСЕГО

Физика — это сердце науки, основа наших знаний о природе. Это наш путь в описании и понимании того, как работает Вселенная. А значит, физика играла существенную роль в течение всего времени, когда человечество размышляло о науке.

Это относится к каждой культуре, оставившей значительный след в истории человечества, несмотря на сильно отличающиеся стартовые позиции разных культур. Поскольку наша современная научная традиция построена на фундаменте греческой мысли, будет наиболее полезно оглянуться на идеи древних греков, которые привели к развитию современной физики и преобразованию, которое включало в себя и квантовую физику.

Хоть наука Древней Греции в основном уже совсем бесполезна, есть более ценная вещь, которую нам дали древние греки, — новый взгляд на мир.



Фалес
(около 624 —
547 до н. э.)



Пифагор
(около 570 —
490 до н. э.)



Платон
(около 428 —
347 до н. э.)



Аристотель
(около 384 —
322 до н. э.)

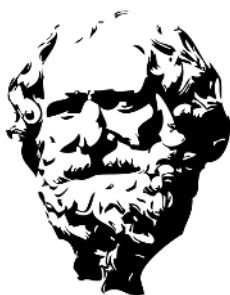
ТЕОЛОГИЯ И ФИЗИКА

В то время как все, что связано с природой, рассматривалось как творение богов, греческий философ Фалес, родившийся под самый конец VII в. до н. э., и его последователи искали материальные, а не духовные причины. Другой греческий философ, Аристотель, творивший более 200 лет спустя, назвал тех, кто следовал за Фалесом, «физиками» (φυσικοί), чтобы отличить их от теологов (θεολόγοι).

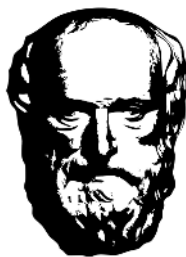
Для древних греков физика означала науку о вещах на Земле, включая живых существ, тогда как астрономия была частью математики.



Евклид
(жил в III в. до н. э.)



Архимед
(около 287 —
212 до н. э.)



Эратосфен
(276–195 до н. э.)



Гиппарх
(190–120 до н. э.)

О СТИХИЯХ

Древнегреческие философы предложили идею того, что материя состоит из элементов. Шел V в. до н. э., когда Эмпедокл первым утверждал, что все состоит из земли, воздуха, огня и воды. Такое представление может показаться банальным, но оно было разработано на основе научного принципа, согласно которому теория должна основываться на наблюдениях. Эмпедокл наблюдал, например, как при сгорании деревянный брусок давал дым, похожий на воздух, извергал огонь, как вытекал сок растения, похожий на воду, и как сгорание кончалось образованием пепла, похожего на землю.

Эта теория была объяснена Аристотелем, добавившим пятый элемент — квинтэссенцию, или эфир, — поскольку он считал, что все находящееся выше орбиты Луны было совершенным и должно быть сделано из чего-то менее мирского, менее приземленного. Четыре элемента были также использованы для того, чтобы объяснить, как работает гравитация.

Подход Аристотеля к гравитации был основан на его идее, что стихии имеют естественное место: если что-то состоит в основном из земли и воды, оно стремится быть в центре Вселенной, тогда как огонь и воздух удаляются от центра (строго говоря, тяжесть была



Эмпедокл, изображенный на гравюре XVII в.

стремлением к центру, а легкость — движением от него). Это было одно из самых убедительных доказательств обращения Солнца вокруг Земли, а не наоборот.

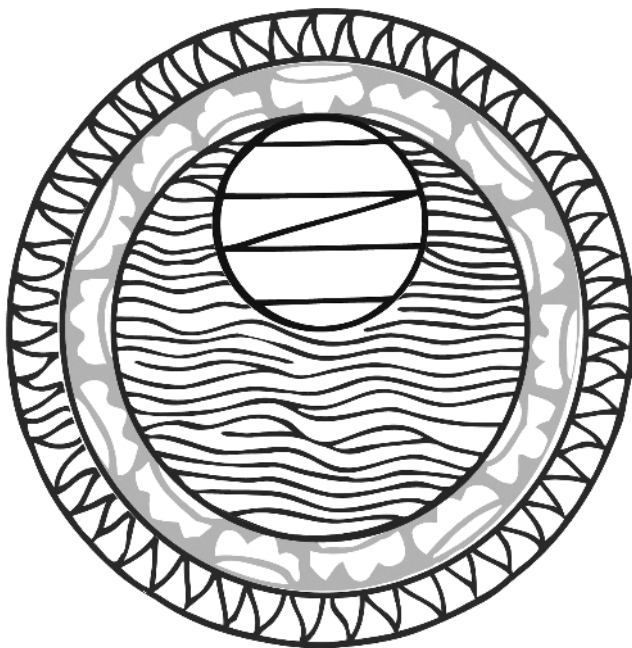


Рисунок из трактата Сакробоско (1501), изображающий сферы четырех элементов (из земли состоит самая маленькая из них, она смещена от центра для объяснения существования суши).

Кометы были настоящей проблемой. Несмотря на все внешние признаки, из-за того, что они изменяют свою форму при движении в пространстве, считалось, что они находятся под Луной.

АТОМИСТЫ

Хоть представление о четырех стихиях и оставалось признанной теорией строения вещества в течение почти двух тысяч лет, оно у древних греков было не единственным.

Два современника Эмпедокла, Левкипп и его ученик Демокрит, разработали на удивление современную теорию атомов. Она была основана на представлении о том, что если вы берете любую вещь, скажем, кусок сыра, и разрезаете его на кусочки все мельче и мельче, в конечном итоге вы получите такой кусочек, который дальше разрезать будет невозможно. Такие неразрезаемые кусочки они называли атомами (что и означает «неделимый»). Так они разделили все вещество на атомы.

Эти атомы были сделаны из одного и того же материала, но могли иметь множество различных форм, определяющих материал, который эти атомы составляли. Так, например, атомы сыра отличались от атомов воздуха.

Аристотель отвергал атомизм, распространяя теорию четырех стихий. Как мы уже знаем, он добавил пятый элемент — эфир, или квинтэссенцию, — который помог опротестовать принципы атомизма. Если бы все было сделано из атомов, утверждал Аристотель, тогда между этими атомами была бы пустота. Это пустое пространство (или вакуум) казалось Аристотелю невозможным, поскольку вещество естественным об-

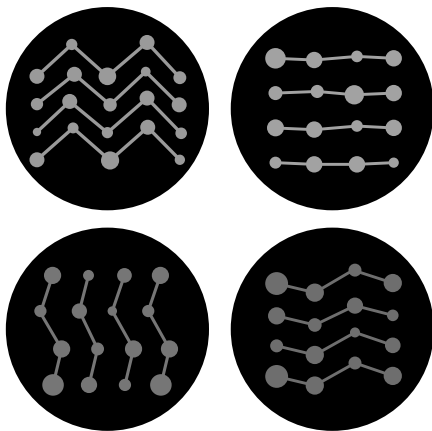
Во времена Средневековья атомом также называли наименьшую известную на тот момент единицу измерения времени — $1/376$ минуты. Вот как говорится о нем в «Облаке неведения», написанном неизвестным монахом в XIV в.:

«Атом, по определению истинных философов, которые разбираются в науке астрономии, является наименьшим промежутком времени. Он настолько маленький, что в принципе является неделимым и практически непостижимым».

СТИХИИ ПОБЕЖДАЮТ АТОМЫ

Хотя атомистический подход выглядит более близким к современному, чем земля, воздух, огонь и вода, четыре стихии были, пожалуй, более научными, поскольку они могли быть использованы для предсказания поведения объектов.

Напротив, каждое вещество имело свои собственные атомы, и поэтому атомистическая теория не давала более полного понимания природы.



разом его заполнило бы, и если бы вакуум действительно существовал, то не было бы никакой причины движущемуся объекту когда-либо останавливаться. Итак, в его модели стихий неподходящих пустот не было.

Согласно древнегреческим атомистам, все сделано из атомов, которые нельзя разделить на что-то более мелкое.

