

Феликс Фликер блистательно раскрывает тайны, скрывающиеся за магией нашего времени, которую мы называем физикой. Эта превосходно написанная книга вдохновит новое поколение научных волшебников и поможет поколению нынешнему постичь невероятную Вселенную, в которой мы живем.

*Маркус дю Сутуа,
профессор математики
Оксфордского университета*

Ироничная, глубокая и пронизательная книга. Волнующее погружение в загадочный мир физики.

*Чарльз Фостер,
автор книги «Быть человеком»*

Эту книгу обязательно должны прочитать те, кто хочет понять, как знание физики преобразует наш мир.

*Феми Фадугба,
автор книги «Верхний мир»*

Увлекательная история о часто упускаемом из виду столпе современной науки.

Nature Physics

После этой книги вы перестанете воспринимать обычные, повседневные вещи как должное и заново откроете для себя удивительное волшебство мира.

BBC Radio 4

Ф Е Л И К С Ф Л И К Е Р

УДИВИТЕЛЬНАЯ
ФИЗИКА



Колibri

МОСКВА

УДК 53.01
ББК 22.3
Ф72

Felix Flicker
THE MAGICK OF MATTER
Crystals, chaos and the wizardry of physics

Перевод с английского Дмитрия Прокофьева

Дизайн обложки Александра Воробьева

Фликер Ф.

Ф72 Удивительная физика: Магия, из которой состоит мир / Феликс Фликер ; [пер. с англ. Д.А. Прокофьева]. — М. : КоЛибри, Азбука-Аттикус, 2024. — 368 с.; ил.

ISBN 978-5-389-27131-9

Нас завораживают далекие галактики, черные дыры и элементарные частицы, но давно ли мы задумывались о повседневной магии вокруг нас? Крошечные атомы сталкиваются, образуя снежинки, кристаллы и даже сов, которые для ученых не то, чем кажутся. Профессор Феликс Фликер считает, что нет ничего загадочнее физики, благодаря которой каждый может почувствовать себя волшебником. В этой удивительной книге соседствуют Шерлок Холмс, Терри Пратчетт и скандинавский бог грома Тор, увлекая читателя в магический мир физики. Что черные и белые овцы способны рассказать нам о магнитах? Почему нам сложно установить яйцо в равновесии? Как связаны Альберт Эйнштейн, Мэрилин Монро и кристаллическая решетка? И как не замерзнуть в космосе на ковре-самолете? Прочитав эту книгу, вы больше не сможете смотреть на мир как прежде.

«Задача волшебников — выявлять скрытые закономерности внутри хаоса»
(Феликс Фликер).

УДК 53.01
ББК 22.3

Ранее книга издавалась в серии «Научный интерес» под заголовком «Магия физики. Как управлять тайными силами материи, создавать вещества из квантового мира и вызывать кристаллы из хаоса».

ISBN 978-5-389-27131-9

© Felix Flicker, 2022

© Прокофьев Д.А., перевод на русский язык, 2023

© Издание на русском языке, оформление.

ООО «Издательская Группа «Азбука-Аттикус», 2024
КоЛибри®

Содержание

I. «Физика грязи»	7
II. Четыре стихии	28
III. Магия кристаллов	77
IV. Размышления о движущей силе огня	134
V. За знакомыми нам полями	179
VI. Заклинания деления	222
VII. Защитные заклинания	265
VIII. В поисках философского камня	309
IX. Бескрайние дали	348
<i>Приложение</i>	356
<i>Выражение благодарности</i>	360
<i>Примечания</i>	362

I

«Физика грязи»



Волшебница Веряна пробиралась по холодной, темной пещере, привычно нашептывая в свой кристалл заклинание. Дунув на камень, как если бы она сдувала семена с одуванчика, она пробудила в кристалле ослепительный красный свет, озаривший окружающие ее мшистые скалы.

Пройдя еще немного, она оказалась перед входом. Путь ей преградила большая деревянная дверь, укрепленная широкими железными брусками. В резком свете кристалла она нашла дверную ручку — толстое кольцо из черного железа. Она потянула за кольцо, но дверь не подалась: она была заперта. Найдя край двери, волшебница запустила пальцы в узкую щель между дверью и окружающим ее камнем и нащупала засов, сделанный из того же грубого железа, что и кольцо.

Веряна снова заговорила с кристаллом тем же уверенным негромким голосом, и он стал постепенно темнеть. Через несколько секунд она вновь оказалась в абсолютной темноте. Встав напротив засова, она положила кристалл на ладонь и поднесла его к двери, как пучок травы к морде лошади. Когда она произнесла несколько слогов древнего языка, на этот раз более резким тоном, вновь появился

свет — теперь это был узкий, сфокусированный красный пучок интенсивного жара. Проникнув в щель, луч прорезал засов, оставляя после себя красно-оранжевое свечение расплавленного железа. В воздухе разлился острый запах кузнечного горна. Свет исчез так же быстро, как появился. Она снова потянула за кольцо; дверь неохотно открылась. При этом с другой стороны, от сложенной из каменных глыб лестницы, в расширяющийся проем начали просачиваться свет и жизнь. Волшебнице предстояло потрудиться.

Эта книга — о колдовстве. В ней раскрываются секреты искусства волшебников и рассказывается, как научиться их использовать. Кроме того, в ней излагается история магии — повествование о том, как волшебники вывели из своих наблюдений за миром заклинания, которые они используют, и как современные волшебники продолжают разрабатывать новое волшебство для преобразования мира прямо на наших глазах.

В современном мире магию называют физикой, а колдовство, которым занимаются волшебники — *физикой конденсированного состояния*. Прежде чем мы поговорим о значении этих слов, я должен предупредить вас об одной особенности этой книги. Когда вы узнаете, как использовать то или иное заклинание, производимое им действие перестает казаться вам волшебным. Оно становится прозаическим. Обыденным. *Скучным*. Такова цена магического знания. Чтобы вновь обрести способность поражаться так, как вы поражались, когда вам только показывали это волшебство, требуется много практики и терпения.

На протяжении большей части истории — и даже на памяти ныне живущих людей — история, которую вы только что прочитали, относилась к жанру фантастики. Если вы могли достать из кармана кристалл, способный осветить пещеру по вашему желанию, тут, несомненно, происходило нечто вол-

шебное, а вы были колдуном. Однако в наши дни это действие стало совершенно прозаическим: такой кристалл называется светодиодом; нажав на выключатель, вы пускаете через него электрический ток, и от этого появляется свет. Лазерный диод — тоже кристалл — испускает интенсивный свет, и, если его сфокусировать, он может разрезать твердый металл. Сейчас вам, вероятно, кажется, что вас обманули. В использовании светодиодного фонарика нет никакой магии. Светодиодный фонарик — это *скучно!* В магии должно быть нечто непонятное, нечто неизвестное. Светодиодные фонарики неинтересны, потому что они нам знакомы и потому что мы — до той или иной степени — понимаем, как они работают. Но если бы можно было показать такой фонарик человеку, жившему в Средние века, он, несомненно, счел бы его вещью волшебной, потому что лежащая в его основе технология выходила за рамки привычного. При наличии достаточного времени средневековому человеку можно было бы объяснить эту технологию. При этом, по мере все большего знакомства с ней, фонарик переставал бы казаться волшебным. Но в самом ли деле он теряет свои волшебные качества? Или это всего лишь иллюзия?

Чтобы увидеть волшебные аспекты привычных вещей, нужно потрудиться, но эти аспекты у них есть. Физика — это программа рационализации и познания мира. Многое из того, что некогда считалось волшебным, стало теперь частью повседневности. Но наше понимание мира, как правило, развивается шаг за шагом, опираясь на уже имеющиеся знания. Анекдот может оставаться смешным вечно, но «въехать» в него можно только один раз. Зато, если вы поняли анекдот, это позволяет вам пересказывать его другим. Если вы делаете это достаточно умело, то при небольшом везении этот анекдот произведет на других такое же впечатление, какое он произвел на вас. То же происходит и с волшебством. Главное в познании магии мира — изучении физики — постоянно смеяться над анекдотом космического масштаба. Нам не просто пока-

зывают, как фокусник исполняет свой номер, а объясняют, как устроен этот фокус. Я надеюсь, что, когда вы впервые познакомитесь с некоторыми из идей, о которых идет речь в этой книге, они смогут вызвать в вас это ощущение волшебства. И что, когда вы прочитаете эту книгу, вы будете понимать, откуда взялись эти идеи, и они покажутся вам более естественными. Возможно, вам придется приложить некоторые усилия, чтобы сохранить то ощущение волшебства, которое они вызывали у вас раньше, но знакомство с заклинаниями позволит вам использовать их на благо других.

Правила колдовства

Теперь, раз вы уже предупреждены, можно поговорить о волшебниках. Когда я говорю о волшебниках, я имею в виду волшебников вполне классических. Тех, кто занимается магией*. На мой взгляд, волшебникам свойственны следующие основополагающие черты — назовем их «Правилами колдовства»:

1. Волшебники изучают мир.
2. Волшебники понимают, что являются частью того мира, который они изучают.
3. Благодаря своему разуму волшебники замечают скрытые закономерности и связи, которых не видят другие.
4. Знания волшебников — это знания практические, прикладные.
5. Волшебники могут вызывать изменения мира, но производят такие изменения с заботой о нем (см. п. 2).

* Я не хочу использовать слово «ведьмы» из-за его ассоциаций с историей преследований. Под «волшебниками» здесь подразумеваются занимающиеся магией люди любого типа и происхождения. — *Примеч. автора.*

Иногда исследования волшебников могут быть образовательными — как учеба Гарри и Гермионы в «Хогвартсе». Бывает, что исследование представляет собою молчаливое размышление — как это свойственно Рей и Йоде в «Звездных войнах», мудрецам классических даосских текстов наподобие «Чжуан-цзы» или сверхъестественно одаренным мастерам боевых искусств вроде Катары и Аанга из эпического телесериала «Аватар»*. Часто исследование принимает форму экспедиции, путешествия по миру — как это происходит с Гэндальфом во «Властелине колец», Морганой и Мерлином в легендах артуровского цикла или Тенар и Гедом в классических романах о Земноморье Урсулы Ле Гуин. Во многих современных примерах волшебником бывает сверхъестественно талантливый ученый. Свершения Дока Брауна в фильмах «Назад в Будущее», Рика в «Рике и Морти» и Доктора Кто приписываются научным достижениям, но используемые ими технологии настолько превосходят понимание остальных персонажей и зрителя, что больше похожи на магию. Если внимательно перечитать этот список примеров, станет ясно, что «Правила волшебников» неявно предполагают существование одного важного негласного правила — «Правила бунтарства»:

Волшебники понимают, что правила существуют для того, чтобы их нарушать.

Взгляните еще раз на пять с половиной правил волшебников и замените слово «волшебники» на слово «ученые». Подходит, не правда ли? Более поэтически это сформулировано Дж. Дж. Фрээрером в его летописи магических практик под названием «Золотая ветвь»:

* Avatar: The Last Airbender (в российском прокате «Аватар: Легенда об Аанге») — мультсериал, выходявший в 2005–2008 гг. К одноименному фильму Джеймса Кэмерона отношения не имеет. — *Примеч. перев.*

В основе как магии, так и науки лежит твердая вера в порядок и единообразие природных явлений... Как магия, так и наука открывают перед тем, кто знает причины вещей и может прикоснуться к тайным пружинам, приводящим в движение огромный и сложный механизм природы, перспективы, кажущиеся безграничными.*

Эти слова Фрэзера описывают связь между магией и наукой. Но колдовство — это особый вид магии, особый вид науки. И у него есть свое название — физика конденсированного состояния.

Магия истинных имен

Зоология изучает животных. Ботаника изучает растения. А что изучает физика? Ее название происходит от древнегреческого *τα φυσική (та физики)*, что означает «естественное». Оно позаимствовано из названия сборника работ Аристотеля о физическом мире. Однако это не слишком-то помогает определить область, о которой идет речь, сколько-нибудь точнее. Возможно, наилучший ответ заключается в том, что физики определяют не столько те явления, которые она изучает, сколько те уникальные методы и инструменты, которые она использует. Грубо говоря, эти инструменты делятся на три группы. Как правило, каждый конкретный физик специализируется лишь на одной из них, хотя для получения искомым знаний о естественном мире необходима совместная работа всех трех.

Эти три категории инструментов — это эксперимент, вычисления и теория. Физики-экспериментаторы исследуют поведение мира, ставя практические опыты. Какими бы экс-

* Пер. с англ. М. К. Рыклина. Цит. по: *Фрэзер Дж. Дж. Золотая ветвь: Исследование магии и религии*. 2-е изд. М.: Политиздат, 1983.

травагантными и малопонятными ни становились наши научные теории, они всегда должны давать проверяемые на опыте предсказания. Эти предсказания могут быть подтверждены или опровергнуты путем наблюдений: волшебники не изобретают заклинания, а изучают их. Там, где мы видим в своих вымышленных рассказах о волшебниках, как они выучивают свои заклинания, они неизменно делают это путем наблюдения за самим миром. Например, в «Аватаре» некоторые люди обладают врожденной способностью оказывать магическое воздействие на воду, которой их предки научились, наблюдая за влиянием Луны на приливы и отливы.

Специалисты по вычислительной физике создают и испытывают компьютерные модели мира. В таких моделях явления могут происходить в более регулируемых условиях и с большей частотой, чем в экспериментах, проводимых в реальном мире. Однако при этом физики, работающие с численными моделями, должны быть уверены, что те обладают всеми существенными свойствами реальных аналогов.

Физики-теоретики тоже работают с моделями реальности. Но, если вычислители обычно предпочитают наиболее точные модели, теоретики, как правило, пытаются найти простейшую из моделей, отражающих суть того или иного явления. Теоретику нужно научиться видеть истинную сущность вещей; этот процесс, несомненно, лежит в самом сердце любой магии.

Сам я теоретик, хотя также работаю в тесном сотрудничестве с экспериментаторами и вычислителями. Это руководство по современному колдовству написано с точки зрения теоретика — отчасти потому что это моя точка зрения, а отчасти потому что книгам такого рода свойственно сводить сложные истории к самой сути. Теоретики сочиняют аналогии, басни. Но, как сказал мне однажды коллега, доктор Янс Хенке, математическая модель — это самый сильный вид аналогии, потому что она не просто соотносит явления со знакомыми обстоятельствами: она также позволяет нам описать, причем весьма подробно, как те же явления будут происходить в но-

вых, не испытанных на опыте ситуациях. Затем экспериментаторы могут проверить эти явления и узнать, ведут ли они себя так, как предсказывает модель. Зачастую вначале появляются опытные наблюдения, и теория — «басня» — строится на их основе. Предположим, предсказания модели подтверждаются на опыте, причем повторяемым, проверяемым образом. Это придает убедительности предположению, что простые элементы, вошедшие в эту модель, содержат в себе суть явления. Теоретическая физика часто бывает близка к математике; различие между ними возникает из разрыва между математической моделью — идеальной и предсказуемой — и реальностью, запутанным миром, который мы ощущаем на опыте. Теоретическая физика — это сочинение повествований, делающих математические модели более понятными.

Работа теоретика всегда напоминала мне магию истинных имен. Во многих культурах, от Древнего Египта до нынешних хакеров, существовала и существует идея о том, что знание истинного имени сущности дает власть над ней. Прекрасный пример такого представления в жанре фэнтези дают книги Урсулы Ле Гуин о Земноморье, которые считают первым примером литературного повествования, в котором волшебник является главным героем, а не второстепенным персонажем. В мире Земноморья волшебники учатся магии, прислушиваясь к миру и узнавая истинные имена вещей. Повседневные названия, которые мы используем для обозначения вещей, — всего лишь ярлыки, которые мы навешиваем на них, чтобы называть их в разговорах. В Земноморье они называются обиходными именами, но кроме них у каждой вещи есть истинное имя. Говорят, что эти имена происходят из *Языка созидания*. Например, читатель узнает, что истинное имя камня — «ток». Когда в разговоре с другими мы называем вещь ее обиходным именем, нечто теряется в переводе. Когда я говорю «камень», в моем сознании возникают определенные ассоциации, которых нет у других людей. Моя невеста Доминик объяснила мне это следующим образом. Если назвать истин-

ное имя вещи, ничто не может потеряться в переводе просто по определению; у любого другого человека будет то же абсолютное понимание значения этого слова. Поэтому вполне естественно связывать истинные имена с заклинаниями. Как гарантировать абсолютное понимание в отсутствие самого предмета? Когда я говорю «камень», я могу иметь в виду какое-нибудь более общее свойство, присущее всем камням. Однако, чтобы произнести имя «ток», мне нужно сначала понять сущность камня.

Истинные имена бывают и у людей. В графическом романе «Невидимые»^{*} человек, становящийся магом, должен принять магическое имя. При этом очень серьезно предупреждают, что подходить к выбору имени ни в коем случае нельзя легкомысленно: имя определяет личность. У меня есть друг, религия которого требует обращаться к праведнику при выборе имени новорожденного. Считается, что праведник способен получить некое мистическое понимание сути ребенка и дать ему соответствующее имя. На разных этапах жизни человека, по мере его развития, тот же праведник дает ему новые имена. Имя действительно может определять некоторые аспекты жизни человека. Мое собственное имя — Феликс Фликер — звучит абсурдно и привлекает внимание; я поневоле задумываюсь, развились ли у меня самого под его влиянием эти черты. Но воздействие имени может быть и более серьезным. В исследовании, проведенном в 2012 году, было установлено, что при рассмотрении одинаковых заявлений на соискание должности в научном учреждении заявления, поданные от лица кандидатов с женским именем, оцениваются ниже, чем поданные от мужского имени, и это считается достаточным основанием для назначения существенно более низкой зарплаты¹. Даже в нашем мире имя — это не просто произвольный ярлык.

^{*} The Invisibles (1994–2000) — серия комиксов по сценариям шотландского писателя Гранта Моррисона. — *Примеч. перев.*

Теоретики изучают не сами сущности, а модели сущностей. Представим себе, что некий теоретик однажды бросает свой хрустальный шар с лестницы своей башни. Поскольку шар пропитан могущественной магией, он не разбивается при падении. Но теоретику нужно знать, когда он докатится до низу, чтобы вызванный орел мог своевременно подобрать его*. В мгновение ока он решает построить математическое уравнение, моделирующее качение шара по ступенькам, используя законы движения Ньютона. Но он не будет пытаться включить в модель все аспекты физического процесса. По всей вероятности, он предположит, что шар катится по ступенькам без трения, пренебрежет сопротивлением воздуха и не станет учитывать возможное возникновение несильных порывов ветра, потому что их нельзя достоверно предсказать. Наш теоретик будет надеяться, что результат процесса — который он точно может вычислить в своей модели, — будет соответствовать реальности, в которой он окажется, бросив свой шар. «Хрустальный шар» — это обиходное имя, вот этот конкретный шар, а математическая модель — имя истинное, идеальное, не запятнанное реальностью. Если вы поняли математическое выражение, вы понимаете его в точности так же, как понимает его любой другой человек, на каком бы языке вы ни говорили. Два плюс два равно четырем, как бы это ни было записано. В модели нет никаких приближений; приближения появляются при переходе от модели к реальности. Вопрос о том, «существует» ли модель, является предметом ожесточенных философских дебатов. Если она существует, не будет чрезмерным преувеличением сказать, что это существование вызвано пониманием модели. Чтобы видеть мир с точки зрения физика-теоретика, нужно научиться слышать истинные имена: научиться вызывать из небытия совершенные математические модели. Искусство состоит в умении выбирать

* Как мы знаем из Толкина, орлы всегда рады явиться на помощь в самый нужный момент. — *Примеч. автора.*

простейшие модели, отражающие суть изучаемого. Простота важна: карта в масштабе 1:1 будет абсолютно точной, но в то же время абсолютно бесполезной, потому что в ней не будет никаких упрощений.

Физика — это набор инструментов, которые можно применить к чему угодно, от невидимо малого до непознаваемо большого. Но внимание волшебника сосредоточено на более конкретной области, на том, что есть здесь и сейчас. Между крайностями лежит срединная область — тот знакомый мир, в котором мы живем.

У срединной области свои обычаи

Все разделы физики занимаются вещами вполне волшебными. Космологи изучают рождение и жизнь Вселенной и предсказывают ее судьбу. Астрофизики слушают гравитационные волны, чтобы услышать столкновения черных дыр. Те, кто занимается физикой частиц, возбуждают квантовые поля, создавая элементарные частицы, которые до этого никогда не регистрировались. Во всех этих областях используется великолепная магия, и им посвящено множество превосходных книг. Однако между квантовым микрокосмом и вселенским макрокосмом существует срединная область. Она не менее волшебна, но ее магия принимает другие — знакомые нам — формы, и поэтому научно-популярные книги по большей части обходят ее стороной. Тем не менее это самая крупная область физики, в которой работает около трети всех исследователей.

Изучение срединной области — это физика конденсированного состояния. Это физика того, что мы видим вокруг нас, изучение материи — сгустков вещества, которые можно взять в руки, — и их описание вплоть до квантовой области, из которой они рождаются. Как известно, Вольфганг Паули, один из создателей квантовой механики, презрительно на-

зывает физику конденсированного состояния *Schmutzphysik*, «физикой грязи». Это название превосходно описывает искусство колдовства. На мой взгляд, можно сказать, что ближайшая родственница физики конденсированного состояния — это физика элементарных частиц. Важно понимать сходства и различия между этими двумя дисциплинами. Элементарные частицы, которыми занимается вторая из них, — электроны, протоны и так далее — можно вполне обоснованно определить приблизительно следующим образом:

Элементарная частица может существовать сама по себе в космическом вакууме и не может быть сведена к другим объектам, обладающим тем же свойством.

Электрон соответствует этим критериям. Однако атом им не соответствует, так как, хотя в некоторых случаях он может существовать сам по себе, он состоит из других объектов (электронов, протонов и нейтронов), также обладающих этим свойством. Протон, в свою очередь, состоит из трех кварков, но кварки не могут существовать по отдельности, так что они не являются элементарными частицами в смысле приведенного выше определения.

Физика же конденсированного состояния изучает то, что возникает при взаимодействии множества элементарных частиц. Если это так, не сводится ли она попросту к физике элементарных частиц? В этой книге я постараюсь убедить вас, что это не так. Если бы у физики конденсированного состояния был девиз, он был бы таким:

Целое больше, чем сумма составляющих его частей.

Возможно, самую важную иллюстрацию этого принципа дает поведение частиц в материи — на мой взгляд, центральный элемент волшебства реальности. Когда электрон летит сквозь космический вакуум, у него есть определенная мас-

са, электрический заряд и магнитное поле (так называемый «спин»). Эти определяющие свойства уникальны для электронов, и все электроны одинаковы. Если этот электрон попадает в вещество, он взаимодействует с другими частицами, находящимися в этом веществе, в соответствии с правилами квантовой механики. При этом его свойства изменяются; поскольку все электроны имеют одинаковую массу, эта частица уже не может быть электроном. Более того, она уже не может быть элементарной частицей: она превращается в «эмерджентную квазичастицу», целое, которое больше суммы составляющих его частей.

Чтобы объяснить, как это происходит, я перефразирую изящную аналогию, которую профессор Дэвид Дж. Миллер предложил для объяснения поведения одной из элементарных частиц — бозона Хиггса. Поскольку профессор Миллер упоминал, что позаимствовал ее основной образ из физики конденсированного состояния, я надеюсь, что он не будет возражать против временного возврата этого долга. Представьте себе, что в полуразрушенный бальный зал заколдованного замка набилось множество охотников за привидениями, о чем не подозревает призрак в кружевном жабо, беззаботно плывущий вдоль по коридору, держа под мышкой собственную отрубленную голову. Призрак вливается в зал, и внезапно на него оказываются обращены все взгляды (и сомнительные измерительные приборы). Толпа, до этого рассеянная по всему залу, скапливается вокруг него. К несчастью для призрака, он похож на привидение из книги «Полуночный сад Тома»*, то есть не способен беспрепятственно просачиваться сквозь людей. Его скорость резко падает, и ему приходится проталкиваться сквозь толпу охотников, которые никак не могут его сфотографировать. Масса призрака увеличивается — в том смысле, что для придания ему ускорения требуется большее

* Tom's Midnight Garden (1958) — детский роман Филиппы Пирс. — *Примеч. перев.*

усилие, чем когда он летел по коридору: теперь нужно сдвинуть с места не только его, но и окружающую его толпу. Чтобы несколько приблизить эту аналогию к настоящим квантовым странностям реальности, можно вообразить, что призрак ведет себя так же, как в фильме «Новые приключения Билла и Теда» (Bill & Ted's Bogus Journey, 1991): он не проталкивается сквозь толпу в своей исходной форме, а поочередно вселяется в тела людей, перескакивая из одного в другое. Его скорость все равно падает, а эффективная масса возрастает, но в зале теперь нет ничего, похожего на исходного призрака; тем не менее, когда он наконец выбирается на террасу, он вновь обретает свой изначальный вид. Когда электрон находится в веществе, он изменяется, однако он может вылететь из вещества и снова стать элементарной частицей.

Другие эмерджентные квазичастицы не имеют аналогов среди элементарных частиц. Например, если свет передается элементарными частицами, которые называют фотонами, то звук не может быть описан элементарными частицами, так как он не может существовать в вакууме. Поскольку звук — это вибрация, он не может распространяться в отсутствие среды. Но в веществе он распространяться *может*, и тогда его тоже можно представить в виде эмерджентных квазичастиц, называемых фононами*. Возвращаясь к аналогии Миллера, на этот раз одному из охотников за привидениями просто кажется, что он «ощутил некое присутствие», и он рассказывает об этом охотнику, стоящему рядом. Сосед последнего, услышав эти слова, передает их дальше, и вскоре слух распространяется по всему залу. Всюду, куда доходит этот слух, толпа сдвигается плотнее, *как будто* там есть призрак — хотя никакого призрака там нет. Уплотнение толпы ведет себя как объект, имеющий массу: оно оказывает сопротивление

* Некоторые физики предпочитают называть фононы не квазичастицами, а коллективными возбуждениями. Я не делаю здесь этого различия. — *Примеч. автора.*

воздействию, изменяющему его скорость, в точности как фонон. Вещество, не содержащее никаких квазичастиц, можно считать аналогом космического вакуума для физики конденсированного состояния, ведь вакуум — это просто отсутствие элементарных частиц. Наглядный пример дают фононы. Их можно считать вибрацией атомов в кристалле; когда кристалл охлаждается, атомы вибрируют меньше и фононы исчезают. Когда в кристалле не остается ни одного фонона, он находится в состоянии наименьшей энергии, так называемом основном состоянии. Когда вы говорите в кристалл спокойным, привычным голосом, вы сообщаете ему энергию, тем самым возбуждая вибрацию его атомов и вызывая из небытия фононы. Исходя из этого, можно предложить следующее определение:

Эмерджентная квазичастица может существовать сама по себе выше основного состояния материала и не может быть сведена к другим объектам, обладающим тем же свойством.

Эмерджентные квазичастицы не могут быть сведены к элементарным частицам без потери существенной части этого описания: представьте себе толпу, в которой все притискиваются друг к другу, чтобы расслышать слух о появлении призрака. Разумеется, эту ситуацию можно описать в терминах индивидуальных охотников за привидениями, но при этом теряется общая картина. В этом суть идеи «эмерджентности», концепции, согласно которой целое может быть чем-то большим, чем сумма его составляющих: у толпы есть свойства — например ограничения возможностей движения, — которых нет у составляющих эту толпу индивидов. В физике конденсированного состояния роль индивидов обычно играют атомы и элементарные частицы, а эмерджентными свойствами являются макроскопические свойства вещества, понимаемые в терминах эмерджентных квазичастиц.

Научно-популярное издание Танымал ғылыми басылым
Массовое издание Бұқаралық басылым

Фликер Феликс

УДИВИТЕЛЬНАЯ ФИЗИКА

Магия, из которой состоит мир

Редакторы *Н. Галактионова, В. Измайлов*

Художественный редактор *М. Левыкин*

Технический редактор *Л. Синицына*

Корректоры *Е. Бударгина, Н. Соколова*

Верстка *И. Лысова*

В оформлении обложки использованы иллюстрации Shutterstock.com:

© Pranch; © GrAl; © yabluko_draws; © Dipto_Roy

Подписано в печать / Баспаға қол қойылады 26.09.2024.

Формат 60×88 1/16. Бумага офсетная. Гарнитура «CharterITC».

Печать офсетная. Усл. печ. л. 22,54.

Тираж 2000 экз. М-SCI-36136-01-Р. Заказ №

Изготовитель:
ООО «Издательская Группа «Азбука-Аттикус» –
обладатель товарного знака «КоЛибри»
115093, Москва, вн. тер. г. муниципальный округ
Даниловский, пер. Партийный, д. 1, к. 25
Тел. (495) 933-76-01, факс (495) 933-76-19
E-mail: sales@atticus-group.ru

Финанс ООО «Издательская Группа
«Азбука-Аттикус» в г. Санкт-Петербурге
191024, Санкт-Петербург,
Херсонская ул., д. 12–14, лит. А
Тел. (812) 327-04-55
E-mail: trade@azbooka.spb.ru

www.azbooka.ru; www.atticus-group.ru

Отпечатано в России.

Өндіруші:
«Издательская Группа «Азбука-Аттикус» ЖШҚ –
«КоЛибри» тауар белгісінің иесі
115093, Мәскеу, қ. іш. аум. Даниловский муниципалдық
округі, Партийный т.ш., 1-үй, к. 25
Тел. (495) 933-76-01, факс (495) 933-76-19
Эл. поштасы: sales@atticus-group.ru

Санкт-Петербург қаласындағы «Азбука-Аттикус»
Баспа Тобы» ЖШҚ филиалы
191024, Санкт-Петербург, Херсон көшесі,
12–14 үй, лит. А
Тел. (812) 327-04-55
Эл. поштасы: trade@azbooka.spb.ru

www.azbooka.ru; www.atticus-group.ru

Ресейде басып шығарылған.

Техникалық реттеу туралы РФ заңнамасына сай басымның сәйкестігін
растау туралы мәліметтерді мына адрес бойынша алуға болады:
<http://atticus-group.ru/certification/>.

Знак информационной продукции (Федеральный закон № 436-ФЗ от 29.12.2010 г.)
Ақпараттық өнім белгісі (29.12.2010 ж. № 436-ФЗ федералдық заң)

16+

Федеральный закон № 436-ФЗ «О защите детей от информации, причиняющей вред их здоровью и развитию»
от 29.12.2010 г. не распространяется.

«Балаларды денсаулығы мен дамуына зиян келтіретін ақпараттан қорғау туралы»
29.12.2010 ж. № 436-ФЗ Федералдық заңы қолданылмайды.