

СОДЕРЖАНИЕ

Введение 006

Список деталей и правила сборки 014

Создавая Вселенную 034

Электромагнетизм и КЭД 062

Сильное взаимодействие и КХД 092

Слабое взаимодействие
и нарушение симметрии 122

Нарушенная симметрия и масса 138

Проблемы с Духами 144

Нарушенная симметрия 152

Будущее 162

Указатель 172

Благодарности 176

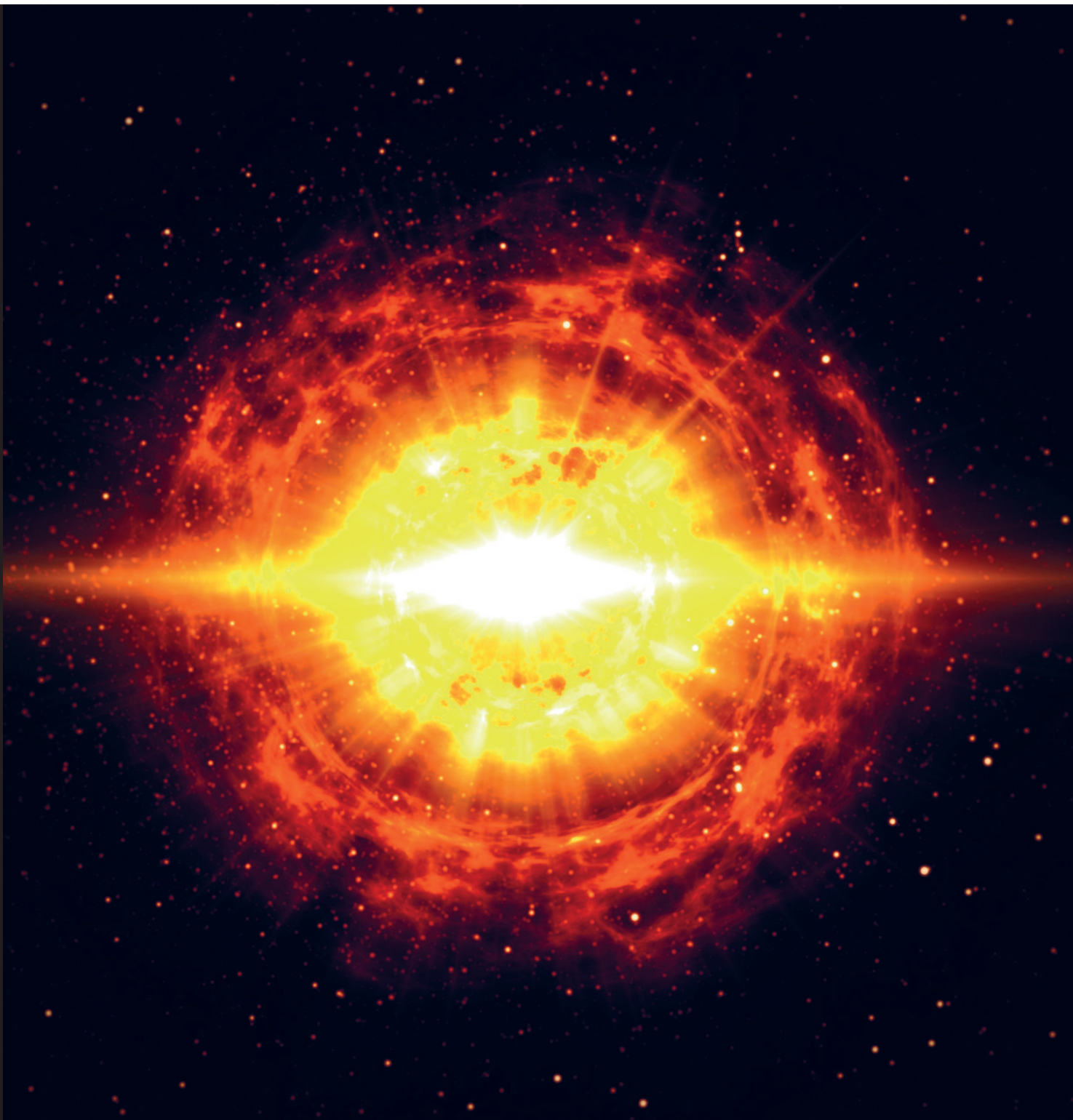
НАУЧНЫЕ МОДЕЛИ

Когда меня спрашивают: «Что есть наука?», — я глубоко вздыхаю. Определение науке можно дать с разных позиций — исторической, философской, практической. Вместо этого я отвечаю, что наука, по своей сути, есть поиск и стремление к созданию как можно более точных аналогий природы. Ученые создают эти аналогии на языке не слов, но математики. Эти аналогии призваны стать истинными математическими моделями того, как работает Вселенная и откуда в ней все берется. Но наш язык, равно как и поэтический слог, бессилен описать истинную красоту природы.

Однако поэты и ученые расходятся во взглядах на развитие своих работ. Изложение стихотворения зависит от человеческого мнения, изложение научной модели природы — нет. Только эксперимент с повторяемыми и подтвержденными данными может считаться научным доказательством. Если новая научная модель раз за разом не находит экспериментального подтверждения, от нее отказываются. В таком случае модель меняют — или создают абсолютно новую. Так и развивалась наука — через постепенное развитие более точных математических моделей природы.

Экспериментальные данные служат постоянным напоминанием ученым о недостатках принятых на настоящий момент математических моделей. Несмотря на то, что наше научное понимание природы несовершенно, мы используем это несовершенство для определения допущенных погрешностей. Как показывает история, новая наука обычно скрывается в детальном понимании этих погрешностей.

При объяснении сложных идей мы часто руководствуемся собственными аналогиями и моделями. Это особенно заметно в науке, которая далека от нашего каждодневного практического опыта. Пластиковые детали конструктора, конечно, не являются настоящими частицами. Каждая такая деталь состоит из триллионов триллионов частиц. Тем не менее я предполагаю, что они могут быть использованы в качестве увлекательной и наглядной аналогии субатомного мира. Уже по названию понятно, что пластиковая деталь как аналог не может описать Природу в совершенстве, но с ее помощью мы приблизимся к тому, чтобы увидеть Вселенную в самых маленьких масштабах.



Стандартная модель, основное развитие которой пришлось на 60–70-е годы XX века, на сегодняшний день считается лучшей моделью нынешнего мира на уровне взаимодействия элементарных частиц. К настоящему времени в модель были внесены лишь минимальные изменения, ее верность была многократно проверена экспериментальным путем. И все же мы знаем, что Стандартная модель не является универсальной моделью строения мира. Так, она не может экспериментально описать темную материю, которая определяет размер, форму и распределение галактик (см. с. 164). Также ей неподвластна темная энергия, ответственная за ускорение расширения Вселенной. Но наибольшее разочарование у физиков-ядерщиков вызывает тот факт, что Стандартная модель не объясняет, откуда с начала времен образовались все существующие частицы (см. главу 8).

Стандартная модель описывает характер взаимодействия и свойства частиц, которые на настоящий момент считаются фундаментальными. Ни одну из них нельзя разделить на частицы поменьше, так что они — самые настоящие кирпичики, из которых состоит наша Вселенная. Эта модель не сообщает нам о составе частиц, их размерах и не может предсказать силу взаимодействия, формирующую нашу Вселенную. Эта математическая модель отвечает экспериментальным данным — и отвечает при этом поразительно четко.

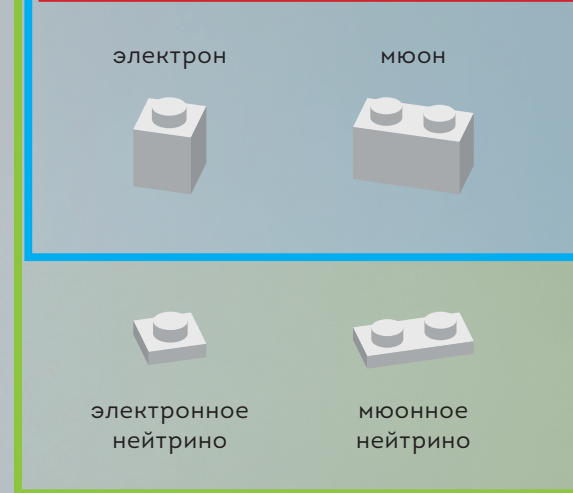
Своим вероятностным поведением частицы Стандартной модели напоминают, скорее, поля, стремящиеся к бесконечному существованию во времени и пространстве, чем твердые частицы. В любой точке времени и пространства для частицы существует ненулевая вероятность взаимодействия с другими частицами. В случае, если взаимодействие частиц состоялось, все вероятности концентрируются в единой точке пространства и времени с определенными характеристиками. Именно эта точка воплощает представление о частице как о маленьком твердом шарике. Без детального разбора математических формул трудно объяснить полевую природу частиц. Здесь и далее мы будем использовать детский конструктор, чтобы описать эти частицы в точке их взаимодействия, хотя аспекты, связанные с их полевой природой, могут привести нас к выводам, которые на первый взгляд покажутся нелогичными.

фермионы

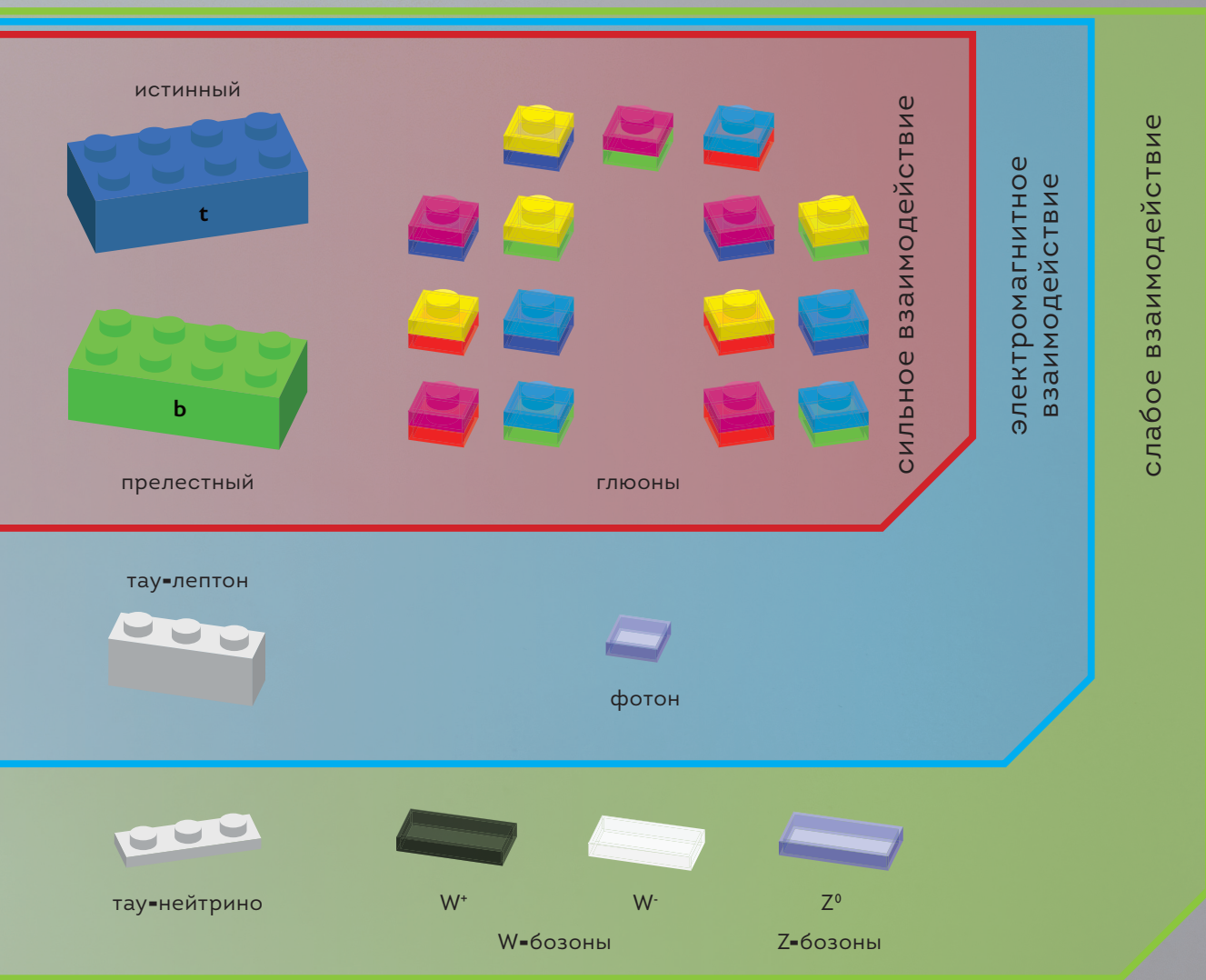
кварки



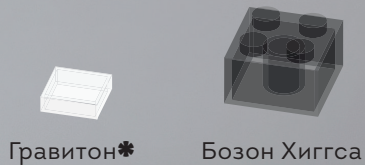
лептоны



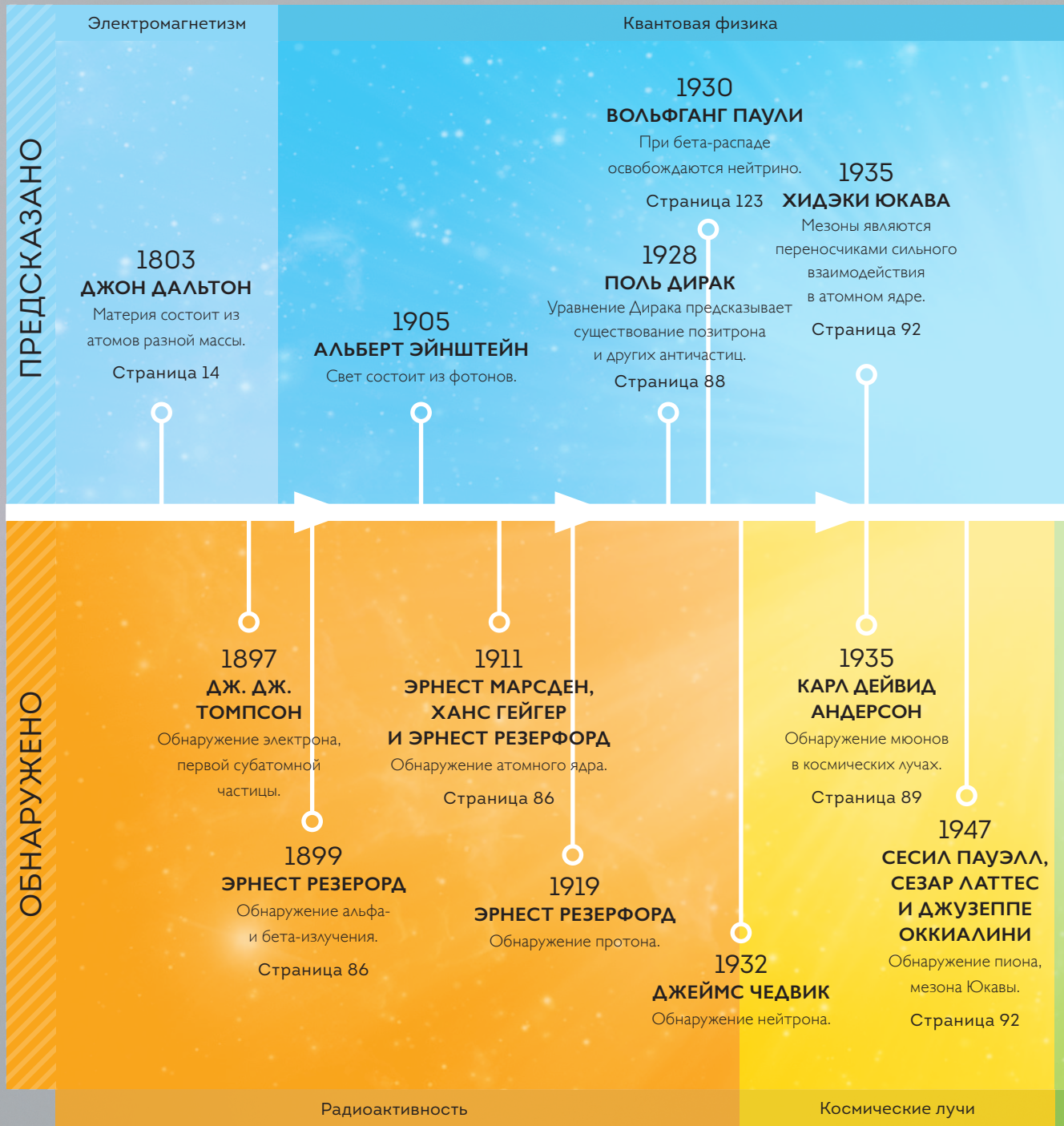
БОЗОНЫ

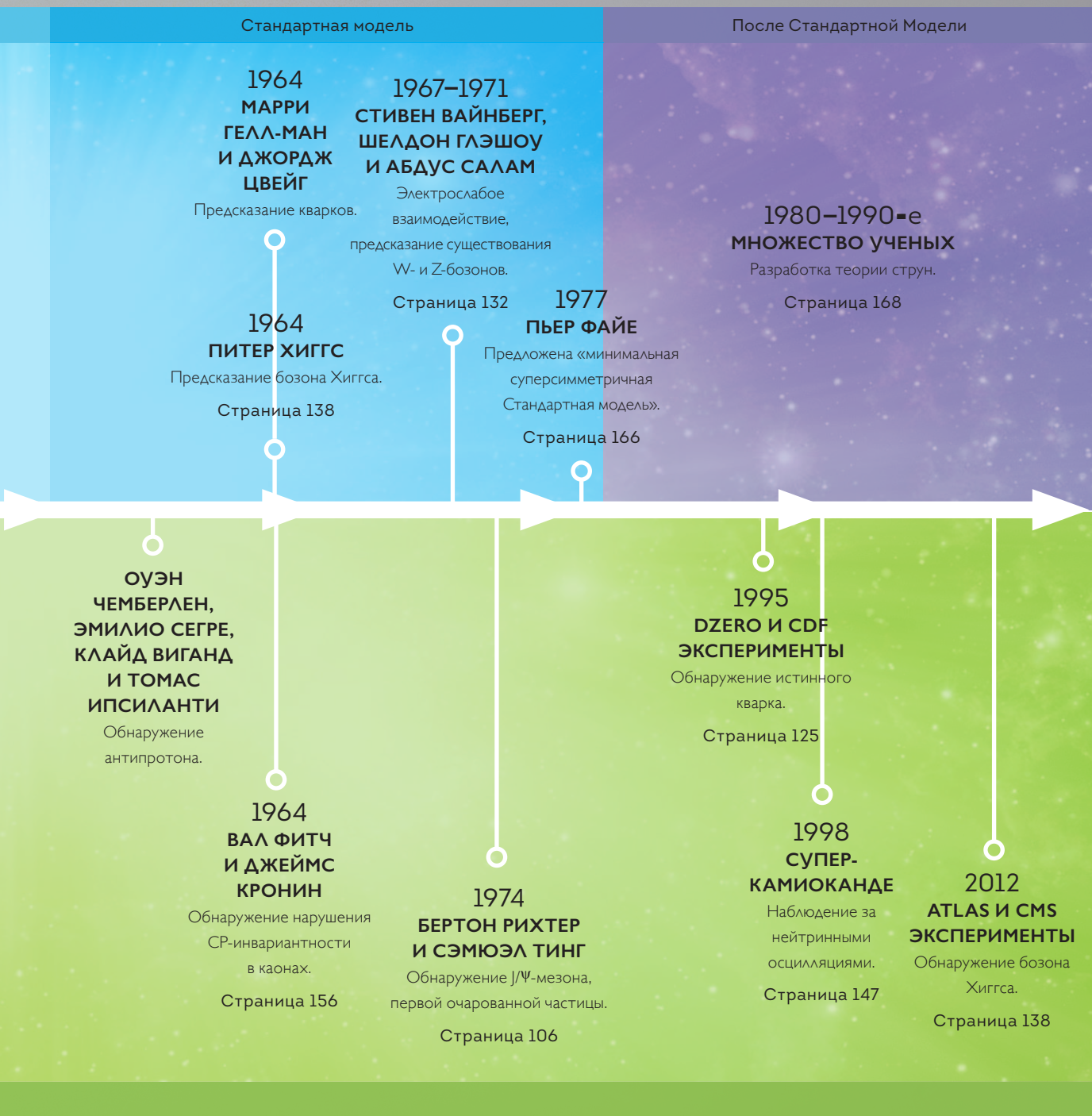


* Существование этой частицы гипотетически предполагено, но экспериментально не подтверждено



ИСТОРИЯ ФИЗИКИ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ



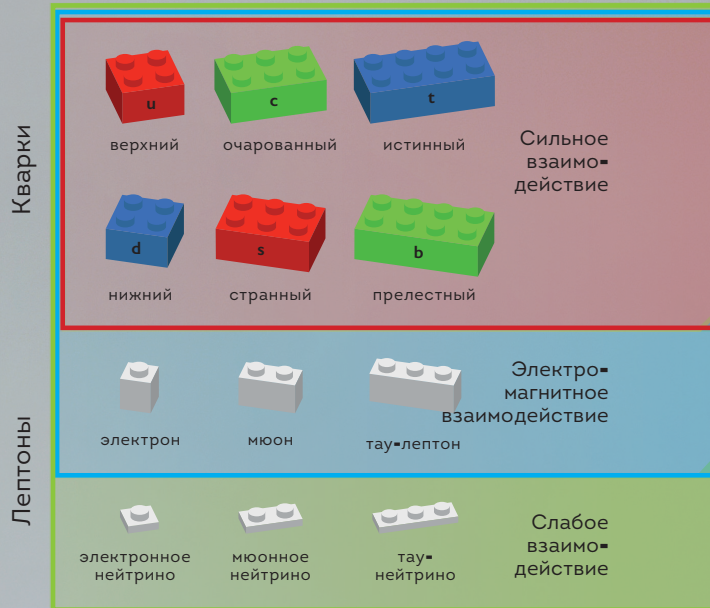


Как и любую другую инструкцию, эту книгу мы начинаем с перечисления деталей всех основных кирпичиков, из которых состоит наша Вселенная. Кроме того, мы затронем некоторые идеи, которые позже рассмотрим подробнее. Потребуется много слов и базовых понятий, так что этот раздел будет хорошей отправной точкой нашего дальнейшего повествования.

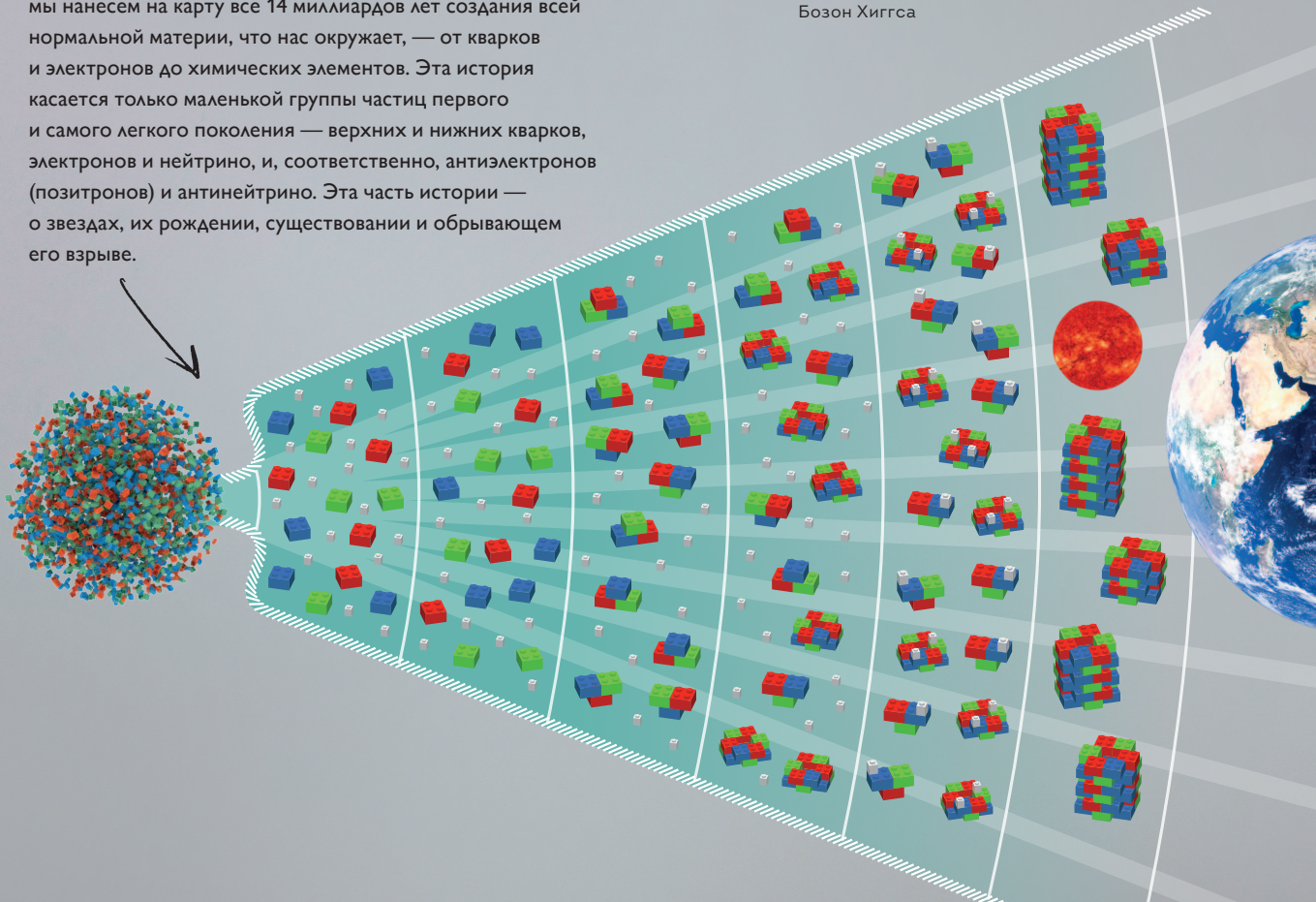
Чтобы частицы легче было запомнить, их весьма кстати изобразили на вкладыше книги, а ее внутренний клапан содержит минимальный глоссарий необходимых терминов.

Оставшаяся часть книги позволит сосредоточиться непосредственно на истории, а начать его мы собираемся с лучшего из возможных мест, в буквальном смысле с начала времен — с Большого Взрыва. С этого момента мы нанесем на карту все 14 миллиардов лет создания всей нормальной материи, что нас окружает, — от кварков и электронов до химических элементов. Эта история касается только маленькой группы частиц первого и самого легкого поколения — верхних и нижних кварков, электронов и нейтрино, и, соответственно, антиэлектронов (позитронов) и антинейтрино. Эта часть истории — о звездах, их рождении, существовании и обрывающем его взрыве.

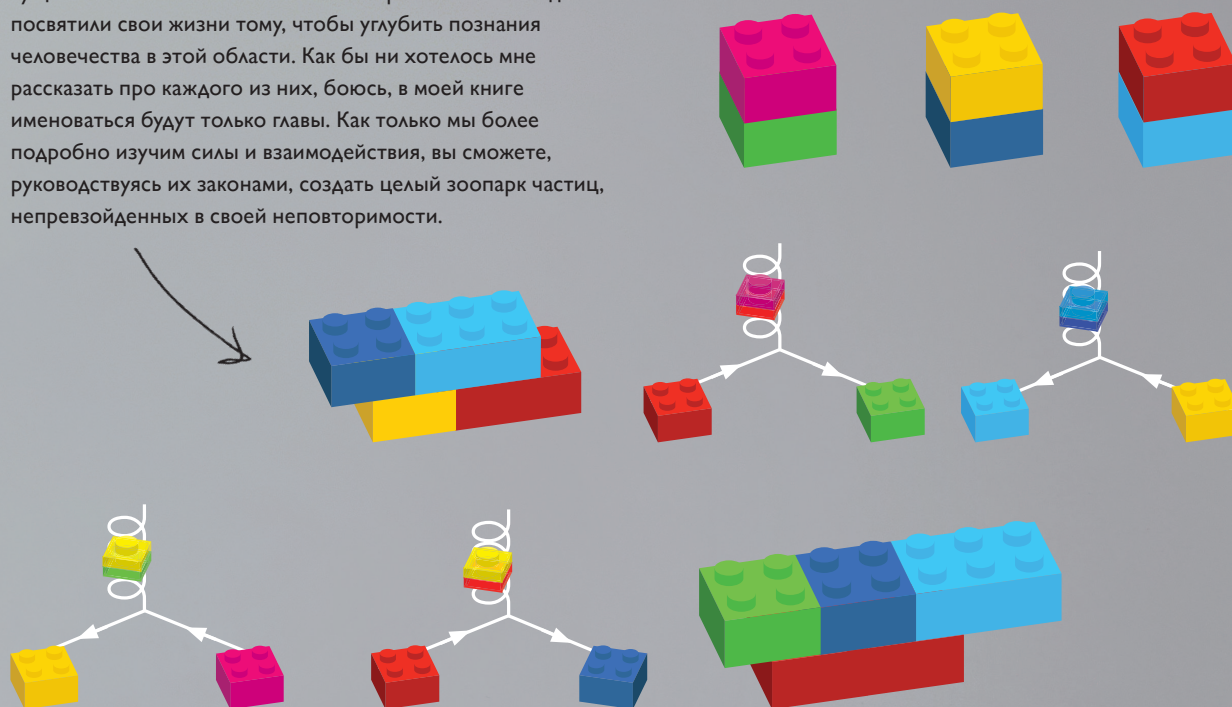
Фермионы



Поле Хиггса



Вторая часть книги — о силах природы в подробностях, открывающихся нашему пониманию по мере все более детального изучения элементарных частиц. Эта история переносит нас во времена, когда экспериментальным путем создавались условия, наиболее близкие к тем, которые существовали на момент Большого Взрыва. Тысячи людей посвятили свои жизни тому, чтобы углубить познания человечества в этой области. Как бы ни хотелось мне рассказать про каждого из них, боюсь, в моей книге именоваться будут только главы. Как только мы более подробно изучим силы и взаимодействия, вы сможете, руководствуясь их законами, создать целый зоопарк частиц, непревзойденных в своей неповторимости.



Наконец, мы обсудим будущее физики элементарных частиц — пробелы в наших знаниях и некоторые теории, которые, будем надеяться, заполнят их. Новые частицы, а с ними и новые правила взаимодействия, открываются постоянно. И хотя на практике их существование еще может быть экспериментально не доказано, им уже нашлось место в нашей вселенной «кирпичиков».



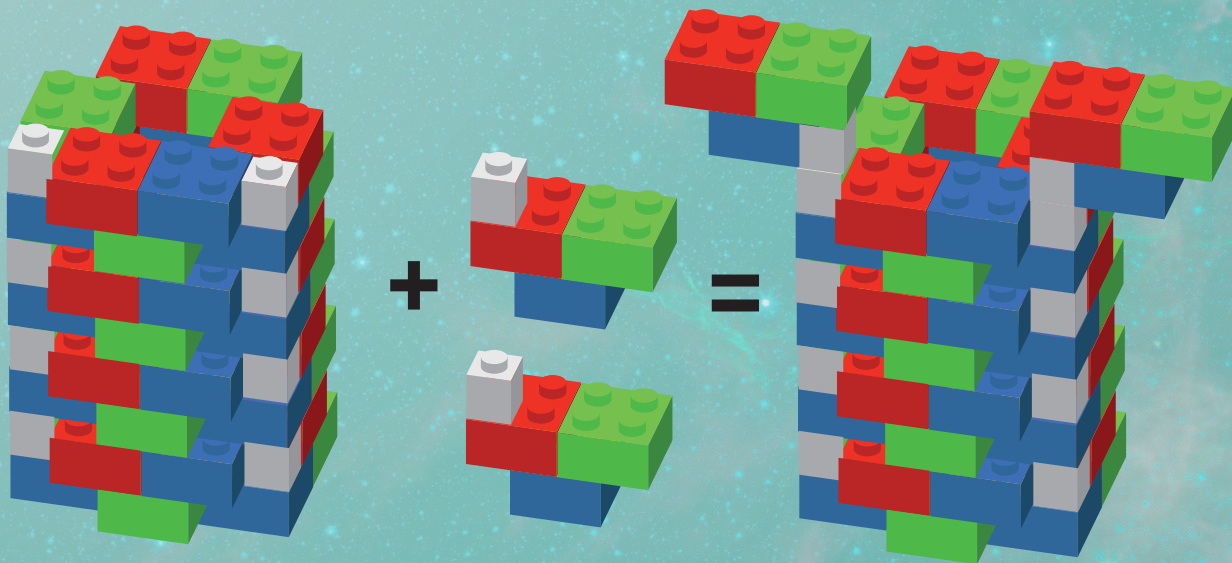
Вся материя вокруг нас состоит из химических элементов, а каждый из них состоит из атомов определенного типа.

АТОМЫ

В представлении греческого философа Демокрита, жившего с 460 до 370 гг. до нашей эры, всю материю можно разделить на все более и более мелкие частицы, пока наконец не получится частица, разделить которую будет уже невозможно. Эта наименьшая единица материи была названа атомом, от древнегреческого *atomos* — «неделимый». Идея Демокрита, получившая название атомистической материализм, смогла просуществовать до XVIII века, когда химия вышла из тени алхимии и вошла в научное русло. Накапливались свидетельства того, что чистые химические элементы реагировали друг с другом с образованием новых сложных химических веществ в целых соотношениях их массы, например, кислород и водород реагировали в соотношении 8 : 1 с образованием воды (обратите внимание, что это соотношение относится к

общему весу атомов, а не их числу). Англичанин Джон Дальтон предположил, что эти процессы свидетельствуют о том, что вещества состоят из микроскопических частиц — атомов, и что каждый химический элемент состоит из определенного типа атомов. Новая атомистическая теория Дальтона просуществовала до конца XVIII века, когда странное излучение показало, что атомы не соответствуют названию — они состоят из еще более мелких частиц.

В этой главе мы проникнем в атом, чтобы изучить частицы, из которых он состоит.

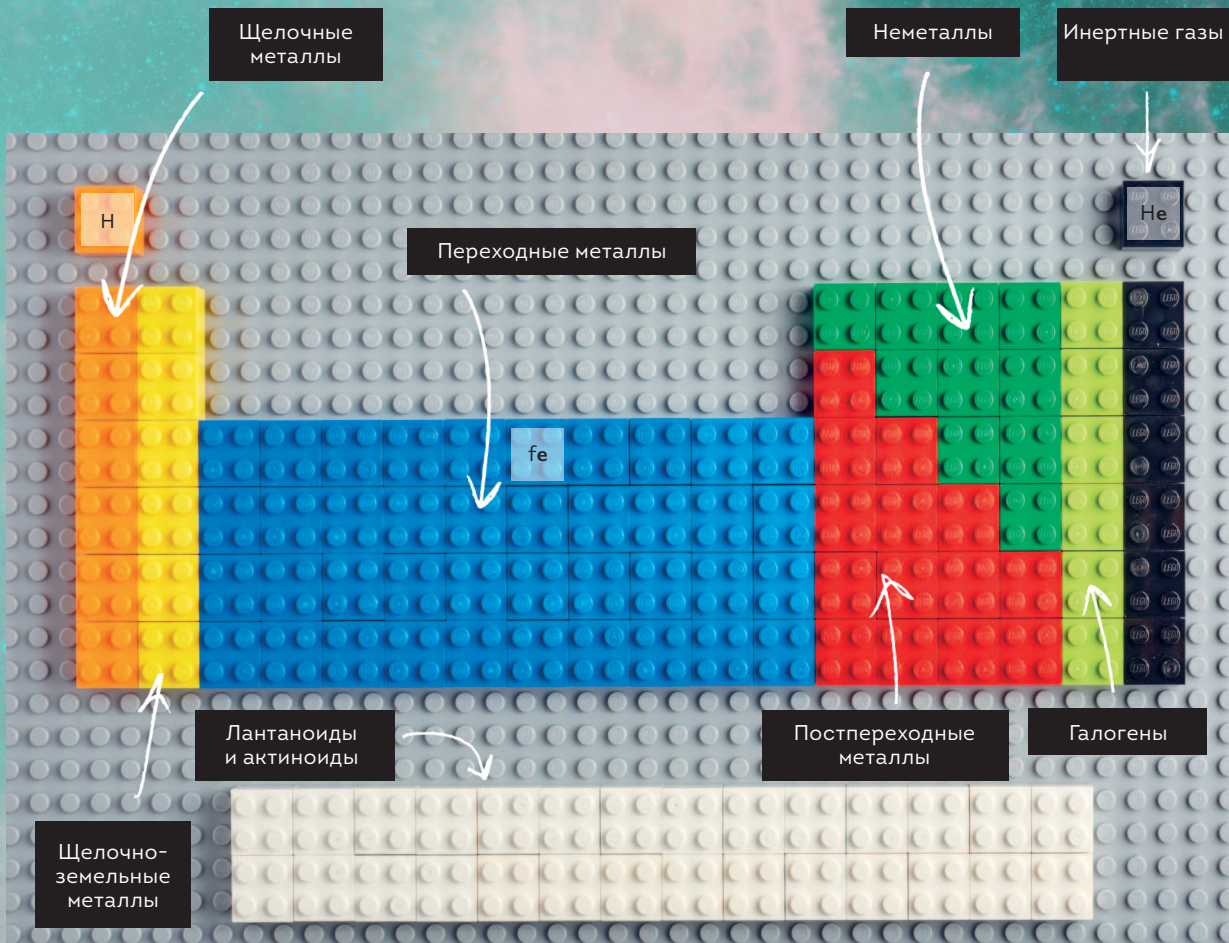


Кислород + 2 водорода = вода

Периодическая таблица

К концу XIX века было обнаружено около 100 химических элементов, каждый из которых состоял из атомов определенного типа. Периодические изменения свойств элементов, по аналогии с наращиванием октав в музыке, вдохновили Дмитрия Менделеева на создание периодической таблицы. Сходства в свойствах элементов одной группы периодической таблицы наводят на мысль о сходствах в их структуре. Но если атомы неделимы, на что намекает их греческое название, как может существовать что-то меньшее? До открытия частиц, менее массивных, чем самый легкий из атомов — водорода, оставалось совсем недолго. Эти новооткрытые «атомы», казалось, объясняли природу электричества. Открытие радиации, полученной из атомов, лишь спутало карты — стало понятно, что наука не может закрыть на это глаза.

Первый ряд таблицы представляет собой водород (H) и гелий (He) — элементы, в больших количествах обнаруженные в ранней Вселенной (с. 42–43), в то время как все элементы до железа (Fe) образовались в звездах (с. 58–59), а остальные элементы — в агонии взрывов умирающих звезд.

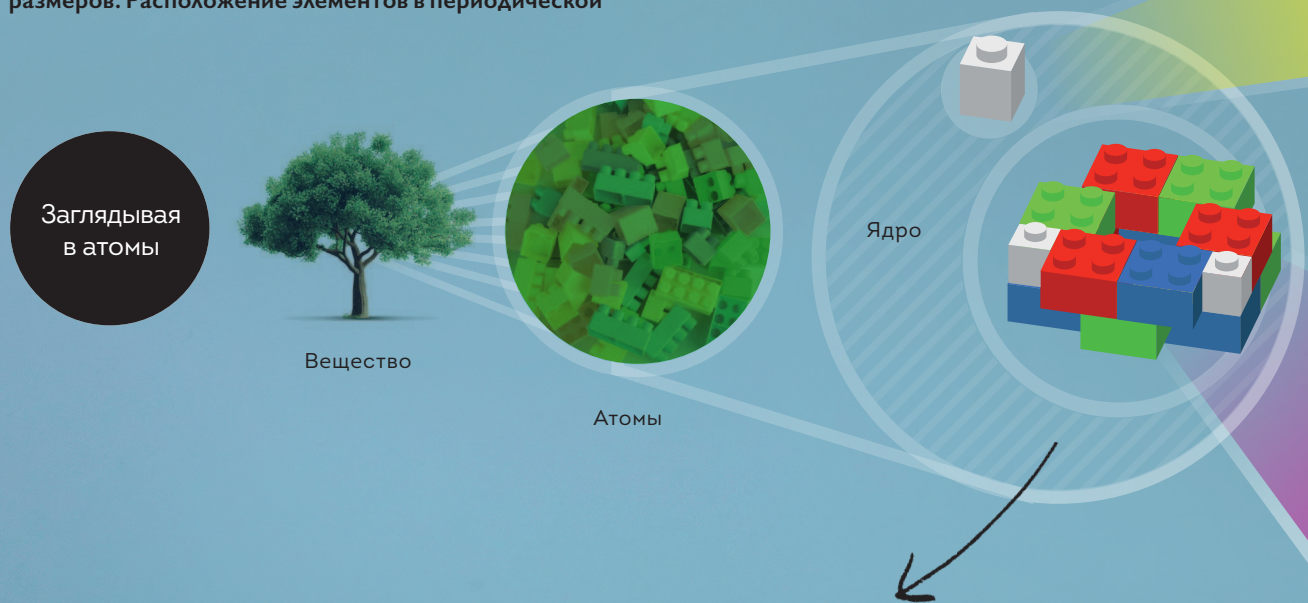


Все невероятное разнообразие атомов в природе состоит из меньших по размеру субатомных частиц трех типов.

ВНУТРИ АТОМА

Джон Дальтон в своих работах открыл людям глаза на то, что мир вокруг нас состоит не из одного-единственного типа атомов, как считали древние греки. Изучение электричества и радиоактивных элементов позволило установить, что атомы Дальтона также состоят из частиц меньших размеров. Расположение элементов в периодической

таблице становится понятным, только когда приходит осознание того, что атомы состоят из более маленьких частиц. Некоторые из этих частиц отвечают за атомную массу, другие — за реакционную способность атома.



ЧТО В ИМЕНИ?

Протон на греческом означает «первый». Нейтроны названы так, потому что они электрически нейтральны. Электроны были названы так, потому что считались атомами электричества.

Атомное ядро
Находится в центре каждого атома и состоит из нуклонов — протонов и нейтронов. Ядро является источником радиоактивности некоторых химических элементов.

Электроны

Образуют электронное облако, центр которого — атомное ядро. Электроны управляют химическими реакциями элемента и участвуют в них. Именно число и распределение по слоям электронов в атоме определяет периодическую природу химических реакций.



Электрон

Нуклоны

Но это еще не конец путешествия. Они состоят из более фундаментальных строительных частиц под названием кварки. Каждый протон и нейтрон состоит из комбинации верхнего и нижнего кварка.



Нейтрон



Протон

Нуклоны**Верхний кварк**

нижний кварк

кварки**Струны**

Результаты всех стресс-тестирований показывали, что на электронах и кварках наше путешествие и заканчивается. Непохоже, что они состоят из более мелких частиц, скорее всего, именно они и являются истинно фундаментальными. Тем не менее существуют теории, согласно которым они могут состоять из более мелких частиц — так называемых струн (см. с. 168–169).

НЕЙТРИНО И ЛЕПТОНЫ

Нейтрино, наряду с кварками и электронами, считаются фундаментальными частицами. Нейтрино образуется при бета-распаде, когда нейтрон распадается на протон и электрон, который всегда сопровождает нейтрино. Электрон и нейтрино образуют группу частиц — лептонов. Будучи легче, чем протоны и нейтроны, они получили название от греческого *leptós* — «маленький», «тонкий» или «легкий».

У каждой фундаментальной частицы есть более массивные копии, подобные ей во всем, кроме массы.

МАССИВНЫЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛИ

Верхний и нижний кварк, из которых состоят протон и нейтрон, а также электрон и электронное нейтрино, — это только одно наименее массивное поколение фундаментальных частиц. По неизвестным причинам существуют еще две пары более тяжелых двойников, поколение 2 и 3 — кирпичики побольше.

Эти частицы можно создать только при энергии очень высокой мощности, как та, которую генерируют ускорители частиц и которая ранее существовала только на заре истории Вселенной.

		Поколение 1	Поколение 2	Поколение 3		
фермионы	кварки	u-кварк  верхний	c-кварк  очарованный	t-кварк  истинный	Двенадцать нижеперечисленных частиц получили название «фермионы» в честь гениального итальянского физика Энрико Ферми, изучающего элементарные частицы Кварки верхнего типа Заряд +2/3 И очарованный, и истинный кварк тяжелее верхнего. Все три частицы имеют положительный заряд, но составляющий только две трети от величины заряда электрона.	
		d-кварк  нижний	s-кварк  странный	b-кварк  прелестный		Кварки нижнего типа Заряд -1/3 И странный, и прелестный кварк тяжелее нижнего. Все три имеют отрицательный заряд, величина которого составляет одну треть величины заряда электрона.
		e⁻  электрон	μ⁻  Мюон	τ⁻  тау-лептон		
	ν_e  электронное нейтрино	ν_μ  мюонное нейтрино	ν_τ  тау-нейтрино	Нейтрино Заряд 0 Все три заряженных лептона имеют связанные нейтрино — электронное, мюонное и тау-нейтрино. Хотя экспериментально не удалось установить их массы, мы знаем, что они не могут быть безмассовыми, как фотоны (см. с. 146–147).		
	лептоны					