

СТИВЕН ХОКИНГ,
РОДЖЕР ПЕНРОУЗ,
БРАЙАН ГРИН,
ЕВГЕНИЙ КАСПЕРСКИЙ
и другие



ПОД РЕДАКЦИЕЙ ГАРИКА ИСРАЕЛЯНА И БРАЙАНА МЭЯ

ВСЕЛЕННАЯ

ЕМКИЕ ОТВЕТЫ НА НЕПОСТИЖИМЫЕ ВОПРОСЫ
ЛУЧШИЕ ЛЕКЦИИ ФЕСТИВАЛЯ НАУКИ STARMUS



**Мартин Дж. Рис
Роджер Пенроуз
Кип Торн
Питер Шварц
Роберт Джеймс Сойер
Стивен Уильям Хокинг
Брайан Грин**

**Вселенная. Емкие ответы
на непостижимые вопросы**

Серия «Мир Стивена Хокинга»

Издательский текст

http://www.litres.ru/pages/biblio_book/?art=62788246

Вселенная. Емкие ответы на непостижимые вопросы: АСТ; М.; 2020

ISBN 978-5-17-114287-2

Аннотация

Фестиваль науки Starmus впервые прошел в 2011 году, и с тех пор стало традицией участие в нем ведущих ученых, знаменитостей в области космонавтики и музыки, которых объединяет страсть к популяризации знания о Земле и космосе. Учредитель фестиваля и астрофизик Гарик

Израилян создал экспертный совет, в который вошли такие замечательные личности, как астрофизик и рок-музыкант Брайан Мэй, эволюционный биолог Ричард Докинз, первооткрыватель микроволнового излучения Роберт Вильсон, теоретический физик Стивен Хокинг, космонавт Алексей Леонов, химик и лауреат Нобелевской премии Харольд Крото и другие.

В этой книге собраны лекции ученых, которые многие годы работали над тем, чтобы воссоздать прошлое вселенной и представить ее структуру. Они познакомят с самыми смелыми теориями, некоторые из которых были проверены и доказаны, а некоторые еще ждут экспериментальной проверки, недоступной на нынешнем этапе развития технологий.

Выскажутся на этих страницах и те, кто сумел на основе современных данных нарисовать будущее вселенной, нашей планеты и наше собственное.

Содержание

Прошлое и настоящее Вселенной	6
Стивен Хокинг	6
Джон Эллис	11
Конец ознакомительного фрагмента.	33

С. Хокинг, К.

Торн, Б. Грин и др

**Вселенная. Емкие ответы
на непостижимые вопросы**

© STARMUS 2014 (Впервые опубликовано на английском языке под заголовком Starmus: 50 Years of Man in Space)

© STARMUS 2016 (Впервые опубликовано на английском языке под заголовком Starmus: Origins of the Cosmos)

© STARMUS 2017 (Впервые опубликовано на английском языке под заголовком Starmus: Starmus: Beyond the Horizon)

© Оформление, перевод на русский язык. ООО «Издательство АСТ», 2020

Прошлое и настоящее Вселенной

Стивен Хокинг Вступительное слово

Стивена Хокинга (1942–2018) считают одним из самых блестящих физиков-теоретиков со времен Альберта Эйнштейна. Он был Лукасовским профессором Кембриджского университета и написал научно-популярные бестселлеры «Краткая история времени» (Brief History of Time), «Кратчайшая история времени» (A Briefer History of Time), «О вселенной в двух словах» (The Universe in a Nutshell), «Черные дыры и молодые вселенные» (Black Holes and Baby Universes). Хокинг был основателем и научным директором Кембриджского Центра теоретической космологии.

В 1963 году у Стивена Хокинга диагностировали болезнь двигательных нейронов, и считалось, что он проживет не более двух лет. Однако Хокинг построил одну из самых замечательных научных карьер нашего времени, став блестящим исследователем. С 1979 по 2009 год он занимал должность Лукасовского профессора, которую в свое время занимал Исаак Ньютон.

Исследования профессора Хокинга были

сосредоточены в области космологии, физики черных дыр, гравитации и теории относительности. Он подробно исследовал эти области, в том числе такие явления, как потеря энергии и массы черными дырами за счет так называемого излучения Хокинга.

Популярные книги, написанные профессором Хокингом, произвели переворот в нашем восприятии космоса и позволили понять его как никогда прежде.

Starmus – уникальный междисциплинарный фестиваль для специалистов из различных областей знания – астрономов, космонавтов, космологов, физиков, философов, музыкантов, художников, биологов и других. Всех нас объединяет интерес ко вселенной: к тому, как она начиналась и что представляет собой сегодня, к тому, как мы можем исследовать ее, использовать ее многогранные свойства и ресурсы. *Starmus* начался и развивался под руководством астрофизика Гарика Израэляна.

С позиции космолога и физика я хочу рассказать о двух волнующих событиях, произошедших со времени первого фестиваля *Starmus* (состоявшегося в 2011 году). Первое из них – это открытие бозона Хиггса, частицы массой примерно 125 гигаэлектронвольт (ГэВ), состоявшееся в результате исследований на Большом адронном коллайдере. Это открытие завершает Стандартную модель физики частиц, которая описывает почти все физические явления. Правда, некоторые опасения вызывает потенциал Хиггса, так как он может

становиться метастабильным при энергиях выше 10^{11} ГэВ. Это может означать, что существует вероятность катастрофического вакуумного распада, при котором пузырь истинного вакуума начнет расширяться со скоростью света. Подобное может произойти в любой момент, и мы не в состоянии это предсказать. К счастью, предполагаемый период распада бозона Хиггса больше, чем возраст нашей вселенной.

Если потенциал бозона Хиггса действительно метастабильен, это накладывает важные ограничения на эволюцию вселенной и опирается на представление о том, что во вселенной больше барионов, чем антибарионов. Вероятность перехода бозона Хиггса в метастабильное состояние в огромной степени зависит от величины его массы и массы t -кварка, а также от того, применима ли вообще стандартная модель к энергиям порядка 10^{11} ГэВ. Все это пока неясно и нуждается в дальнейших экспериментах.

И это не могут быть эксперименты исключительно в сфере физики частиц. Размеры ускорителя частиц, способного достичь 10^{11} ГэВ, были бы больше размеров Земли – такой проект вряд ли будет профинансирован при нынешнем экономическом климате. Однако есть и другие методы. Ранняя вселенная, вероятно, содержала частицы, обладавшие куда большей энергией. Мы не можем наблюдать их электромагнитное излучение, потому что примерно до 350 000 лет после своего рождения вселенная оставалась непрозрачной. Но

гравитационные волны, излученные в самые ранние эпохи, свободно достигают нас, и они могут предоставить нам уникальную возможность увидеть первые этапы жизни вселенной.

В согласии с общепринятой точкой зрения, молодая вселенная прошла через период быстрого экспоненциального расширения, который называется эпохой инфляции. Почти 40 лет назад мы с Гэри Гиббонсом доказали, что в экспоненциально расширяющейся вселенной эффективная температура равняется темпу расширения (H), поделенному на 2π . Это некоторый аналог температуры черной дыры (которую я открыл двумя годами ранее), только связанный с космологическим горизонтом, а не с горизонтом черной дыры.

Тепловые флуктуации, возникающие под влиянием этой температуры, создавали в ранней вселенной два типа возмущения: скалярные возмущения (соответствующие вариациям плотности) и тензорные возмущения, представляющие собой гравитационные волны. Эти скалярные возмущения – причина колебаний температуры реликтового излучения на поверхности последнего рассеивания. Их впервые зарегистрировал спутник *COBE* в 1993 году, а позднее более детальные данные были получены спутниками *WMAP* и *Planck*. Эти наблюдения соответствуют нашим предсказаниям и представляют экспериментальное подтверждение теории инфляции.

Тензорные возмущения обнаружить сложнее, так как они

слабее и не влияют напрямую на температуру реликтового излучения, а лишь на поляризацию этого излучения. В марте 2014 года команда эксперимента *BICEP2* заявила, что они обнаружили тензорные возмущения с амплитудой в 20 % от скалярных возмущений. Это гораздо выше, чем кто-либо мог ожидать. Однако позднее экспериментаторы признали, что причиной этих сигналов могли быть частички космической пыли, которые также могут придавать реликтовому излучению некоторую поляризацию. Еще несколько экспериментов, нацеленных на измерение тензорных возмущений, находятся в стадии разработки. Будем надеяться, что они принесут плоды уже ко второму фестивалю *Starmus* в сентябре 2014 года¹.

Я заключил пари с Нилом Туроком, директором института Периметра, что тензорные возмущения составят как минимум 5 % от скалярных. Если я выиграю, мне достанется бутылка канадского шампанского и 200 канадских долларов!

¹ На настоящий момент экспериментальных подтверждений этого явления не получено. — Прим. ред.

Джон Эллис

От рождения частиц к рождению вселенной

Джон Эллис – ведущий физик Европейского центра ядерных исследований (ЦЕРН), расположенного в Женеве, Швейцария, и Максвелловский профессор Королевского колледжа в Лондоне. Его научные интересы связаны с феноменологическими аспектами физики частиц, но Эллис также внес большой вклад в астрофизику, космологию и теорию квантовой гравитации. В течение многих лет он возглавляет исследования на Большом адронном коллайдере (БАК), где начались эксперименты в физике высоких энергий, которые приведут физику к новым диапазонам энергии и времени.

Исследования Эллиса на БАК будут обращены к физическим аналогам простых, но глубоких вопросов о существовании человека. Представление о веществе, предлагаемое господствующей ныне теорией физики частиц, известной как стандартная модель, оставляет открытыми немало фундаментальных вопросов. Например, физики хотели бы знать: откуда во вселенной взялось вещество? Как появилась эта масса? Какова природа темной материи, которая заполняет вселенную? Есть ли в космосе дополнительные

измерения? Чтобы разрешить эти загадки, могут потребоваться другие эксперименты за пределами возможностей БАК.

Британским Институтом физики в 1982 и 2005 году Эллису были присвоены премии им. Поля Дирака, с 1985 года он состоит в Лондонском королевском обществе, а в 1991 году избран членом Британского института физики.

В своем выступлении я хочу перенести вас назад, еще дальше, чем забрались астронавты, назад на 13,8 миллиарда лет, к самому началу Большого взрыва.

При помощи обычных телескопов мы не можем увидеть, что происходило в то время, поскольку свет не может оттуда вырваться. Единственный путь исследований, косвенных и не представляющих угрозу для жизни, – это эксперименты с частицами, цель которых – понять фундаментальные законы физики, и об этом я хотел бы вам рассказать. Кроме того, за последние несколько лет обнаружилось, что эти эксперименты с частицами могут рассказать нам о том, что может случиться со вселенной в отдаленном будущем, это очень впечатляющие вещи, о которых я скажу ближе к концу этого доклада.

Мой доклад называется «От маленьких взрывов к Большому взрыву». Вы все знаете о Большом взрыве, поэтому позвольте мне представить маленькие взрывы. В ЦЕРН, рядом с Женевой, в Швейцарии, у нас есть Большой адронный коллайдер (БАК) – крупнейшая в мире фабрика маленьких

взрывов. Его окружность составляет 27 километров, так что можно сказать, что по человеческим масштабам он довольно большой. И, конечно, в него были вложены большие ресурсы – не так много, как в программу «Аполлон», но со времен «Аполлона» это крупнейшая научная программа.

Вы все слышали о бозоне Хиггса, и именно Хиггс предложил идею о том, как элементарные частицы вещества обретают свою массу. Одной из целей взрывов, которые мы производим около Женевы, является обнаружение описанной Хиггсом частицы². Мы также пытаемся понять другие фундаментальные свойства вселенной, например, понять природу темной материи, невидимого вещества, которое, как говорят нам астрофизики, заполняет вселенную.

Когда я говорю перед непрофессиональной публикой, я часто иллюстрирую то, что мы делаем в наших экспериментах по физике частиц, знаменитой картиной Поля Гогена. Многие из вас знакомы с ней. Группа людей на одном из островов Южных морей задает самые фундаментальные вопросы о нас и нашем месте во вселенной – кто мы? откуда мы взялись? куда мы идем? Если вы вынесете отсюда хоть что-нибудь полезное, надеюсь, это будет представление о том, что физика частиц как раз ищет ответы на эти вопросы, в частности с помощью экспериментов на БАК в ЦЕРН. Если

² Считается, что бозон Хиггса был обнаружен на Большом адронном коллайдере в 2012 году. За это открытие в 2013 году Питеру Хиггсу и Франсуа Энглеру была присуждена Нобелевская премия. – *Прим. ред.*

уложить это в одну фразу, мы пытаемся понять, из чего сделана вселенная. Раз уж люди здесь много говорили о своих биографиях, позволю себе заметить, что, когда я оканчивал университет, на стене моей комнаты висела копия этой картины Гогена, просто чтобы напоминать мне, зачем я каждый день прихожу на работу. И до сих пор я хожу на работу по той же причине.

Вот космическая линейка – фактически, это космическая логарифмическая линейка без визира и с логарифмической шкалой. Эта логарифмическая линейка с одного края имеет крупнейший масштаб во вселенной – 10^{28} сантиметров. Иногда, пытаясь перевести это в повседневные понятия, я говорю – подумайте о дефиците американского бюджета, выразите его в центах и возведите в квадрат. Вы получите что-то около 10^{28} . А на другом краю линейки у нас наименьший масштаб, который рассматривают физики, – 10^{-32} см. В середине этой шкалы у меня человеческий масштаб, порядка метра. Возможно, вы узнаете одного из людей на этой фотографии. Это Альберт Эйнштейн со своей маленькой сестрой. Внутри Альберта Эйнштейна и его сестры, конечно, находятся молекулы, атомы, ядра. Внутри ядер находятся эти штуки под названием протоны и нейтроны, и наименьшие составляющие ядра, о которых мы знаем, мы называем кварки. Нас, исследователей в области физики частиц, интересует то, что находится внутри этого, самая – если хотите – тон-

чайшая структура вещества.

Наверное, вам будет интересно услышать о связи между этой тончайшей структурой вещества и тем, что происходит во вселенной на очень больших масштабах. Я уже упоминал астрофизическую темную материю, и я вернусь к ней позже. Ее природа может оказаться одной из тех тайн, которые нам удастся разгадать в результате наших экспериментов, как и происхождение самого вещества, как и прошлое и будущее нашей вселенной.

Еще одна мысль, которую я бы хотел донести до вас на этой встрече, это то, что эксперименты на машинах вроде Большого адронного коллайдера позволяют увидеть то, что не сможет увидеть напрямую даже космический телескоп им. Джеймса Уэбба. Вы, вероятно, думаете о БАК как о супермикроскопе, но вы можете рассматривать его и как своего рода супертелескоп.

Приключения физики частиц начались немногим более сотни лет назад. Виктор Гесс поднялся в воздух на воздушном шаре и обнаружил космические лучи, энергетические частицы, прилетающие из открытого космоса. В первой половине XX века многие открытия физики частиц были совершены во время наблюдений за тем, что происходит, когда космические лучи попадают в верхние слои атмосферы и производят ливень из других частиц. Одним из примеров служит антивещество, к которому мы вернемся позже.

Но примерно в середине прошлого века физики выясни-

ли, что если они хотят детально изучать эти частицы и открыть законы, которые управляли вселенной, когда она была еще очень молода, им потребуются систематические исследования в контролируемых условиях лаборатории. Поэтому они стали разрабатывать ускорители частиц. В 1950–1980-х годах эти эксперименты породили то, что мы сейчас несколько прозаично называем стандартной моделью физики частиц.

Одним из основоположников этой теории был уроженец Пакистана Абдус Салама. Вместе с двумя американскими физиками, Шелдоном Глэшоу и Стивом Вайнбергом, он разработал эту теорию, опираясь на идеи Питера Хиггса и других, к которым я вскоре вернусь. Первое экспериментальное подтверждение предсказаний этой теории было получено в 1970-х в ходе экспериментов в ЦЕРН, примерно в то же время, когда вы, парни из первого ряда, весело рассаживались на свои ракеты. Более подробные исследования в 1980-х и 1990-х подтвердили, что эта теория весьма точно описывает все видимое вещество во вселенной.

Из чего же состоит стандартная модель? С одной стороны, она содержит частицы вещества. Я уже упоминал электрон, ядро и внутри него самые элементарные из частиц, которые мы можем наблюдать, эти штуки, называемые кварками. Мы знаем теперь, что есть шесть различных видов кварков. В дополнение к электрону есть две другие электроноподобные частицы, более тяжелые, одна из которых (мюон) была об-

наружена в космических лучах. Вместе с тремя типами нейтрино они составляют частицы вещества.

Нам известны четыре основных взаимодействия между частицами вещества, из которых два широко известны. Одно из них, конечно, гравитация, о которой мы слышали от наших друзей-астронавтов. Другое – электромагнетизм, основы которого сформулировал Джеймс Клерк Максвелл 150 лет назад, когда он работал профессором Королевского колледжа в Лондоне. Затем у нас есть сильные ядерные взаимодействия, которые удерживают ядра от распада, и слабые ядерные взаимодействия, которые отвечают за некоторые виды радиоактивности. Мне нравится думать об этих частицах и их взаимодействиях как о некоторым образом составляющих космическую ДНК. Их свойства содержат в закодированном виде всю информацию, которая требуется для создания всех видимых объектов вселенной, и очень даже правильных объектов, но не хватает одной детали: понимания, откуда у элементарных частиц берется масса.

Если бы электроны не имели массы, не было бы и атомов, потому что электроны сбежали бы от ядер со скоростью света. Если бы частицы, отвечающие за слабые взаимодействия, не были очень тяжелыми, эти слабые взаимодействия не были бы слабыми, и все мы светились бы в темноте. На самом деле, жизнь была бы невозможна по целому ряду других причин. Поэтому очень важно понимать, откуда у элементарных частиц берется масса, и тут вступают Питер Хиггс и его дру-

зья. Так что позвольте мне немного поговорить о том, почему это такая трудная задача.

Свет переносится частицами, называемыми фотонами, существование которых впервые постулировал Эйнштейн. Именно за это он получил свою Нобелевскую премию, когда использовал идею фотона, чтобы объяснить, как свет взаимодействует с веществом при фотоэлектрическом эффекте. Фотон – это не имеющая массы частица, которая всегда перемещается со скоростью света.

Сильные ядерные взаимодействия переносятся частицей, которая похожа на фотон, и называется глюон. Это «клей», который удерживает ядро от распада. Частица глюон, отвечающая за этот клей, была открыта в 1970-х и, подобно фотону, не имеет массы.

А что слабые взаимодействия, слабые силы, отвечающие за радиоактивность? Хидеки Юкава постулировал в 1930-х, что их могут переносить особые частицы. При этом он понимал, что такая частица должна быть массивной, она не может не иметь массы, как фотон. Юкава был прав, но только в 1983 году эксперименты показали, насколько тяжела эта частица, а именно, что ее масса сравнима с массой ядра средних размеров. Вам придется представить, что каким-то образом глубоко внутри элементарных частиц существуют силы, которые переносятся штуками, тяжелыми как ядра. Это звучит довольно странно, но у нас есть Питер Хиггс и его друзья, которых надо благодарить за понимание, как такое

могло случиться. Я говорил выше о вопросах Гогена. Что будет, если мы переведем вопросы Гогена на язык физики частиц?

«Кто мы?» – спрашивал он. Ну что ж, для нас, специалистов по физике частиц, это переводится как: «Из чего состоит вещество?» Я уже рассказал вам большую часть ответа на этот вопрос, но есть еще одна очень важная часть, которой у нас до недавнего времени не было. Она объясняет, почему вещи что-то весят, почему у вещей есть масса. Здесь вступают Питер Хиггс и его друзья.

Мы знаем, что во вселенной есть вещество. Мы также знаем, что антивещества не так много. В конце концов, когда вы, ребята, высадились на Луне, вы не превратились во вспышку излучения, не так ли? Луна состоит из вещества, как и все остальное в видимой части вселенной, насколько мы можем судить. Откуда взялось вещество и почему антивещества совсем немного? Из-за какой-то небольшой разницы между частицами вещества и антивещества?

Я кратко упомянул темную материю. Астрофизики говорят нам, что на самом деле невидимой темной материи во вселенной гораздо больше, чем видимого вещества, про которое мы знаем, которое осязаем. Что это? Состоит ли она из каких-либо частиц?

Как развивается вселенная? Это возвращает нас к еще одному гогеновскому вопросу – откуда мы взялись и куда мы идем. Есть разные ответы на этот вопрос, и я думаю, что Чар-

ли Дюк знает один особенный ответ. Мы, физики, смотрим на это по-другому, но у меня не хватит времени говорить об этом в этом докладе. Каково будущее вселенной? Я планирую вернуться к этому в конце нашего разговора.

Нам, физикам, очень повезло, потому что обращаться к этим вопросам – наша ежедневная работа. Время от времени мы находим один из ответов, и я думаю, что ответ, который дал нам Питер Хиггс, может на самом деле быть связан с некоторыми другими. Поэтому давайте еще раз взглянем на то, что сделали Питер Хиггс и его друзья.

Почему вещи имеют вес? Что же, Ньютон сказал нам, почему вещи весят: они весят потому, что имеют массу. И Эйнштейн, конечно, сказал нам, что энергия сродни массе. К сожалению, два этих выдающихся джентльмена как-то забыли сказать с самого начала, откуда же берется эта масса, и тут вступает Питер Хиггс, и его теория записана на доске. Она также написана на моей футболке. Так что позвольте мне разъяснить по футболке (см. с. 1 вклейки). Верхняя строчка описывает фундаментальные взаимодействия, вторая строчка – то, как эти силы действуют на элементарные частицы – фотоэлектрический эффект Эйнштейна. Третья строчка про то, как бозон Хиггса придает массы частицам вещества, таким как электрон. А нижняя строчка своего рода теоретическая ракета, которая запускает всю эту штуку.

Ключевым моментом его теории является то, что подобно тому, как с электричеством и магнетизмом ассоциирована

частица фотон, есть частица, связанная с его механизмом, и она-то и называется бозон Хиггса. Между прочим, Питер Хиггс был и студентом, и аспирантом в Королевском колледже в Лондоне. Возможно, вы удивлены тем, сколько раз я упоминаю Королевский колледж в Лондоне. Это потому что я там работаю профессором, заходите в гости.

Люди связывают все эти идеи с Питером Хиггсом, но я хочу подчеркнуть, что есть еще множество разных людей, у которых схожие идеи появились в то же время. Причина, по которой мы дали этому бозону имя Хиггса, а не Энглера – Браута – Хиггса – Гуральника – Хагена – Киббле и еще кое-кого, состоит в том, что Питер Хиггс был единственным, кто на самом деле привлек внимание научной общественности к факту, что такая частица должна существовать. Простите, если сейчас я перейду на слишком технический уровень, но я хотел бы быстро пояснить вам, что на самом деле сделал Хиггс и чего не сделали остальные.

Предполагается, что вы рассматриваете вселенную, похожую на мексиканскую шляпу. У мексиканской шляпы есть выпуклость в середине и поля с краю. В каком состоянии вселенная хочет находиться? Как указывали Намбу, Голдстоун и другие, она не захочет находиться на вершине в центре шляпы. Она захочет скатиться на край. Тогда, как указывали Энглет, Браут, Хиггс и другие, по мере того, как вселенная оказывается на краю полей шляпы, частица-переносчик слабого взаимодействия, электрон и связанные с ними частицы

приобретают массу. Дополнительная вещь, на которую указал Питер Хиггс, становится довольно очевидной, если вы посмотрите на мою картинку. Могут быть осцилляции, квантовые вибрации, идущие радиально вверх и вниз по краям шляпы, и эти вибрации вверх и вниз по краям шляпы соответствуют частице, которую мы называем бозоном Хиггса.

Теперь позвольте мне предложить вам аналогию, чтобы подумать обо всем этом. Согласно идеям Питера Хиггса и других исследователей, существует то, что мы, физики, называем полем; возьмите электромагнитное поле, возьмите гравитационное поле, возьмите поле Хиггса, распространяющиеся на всю вселенную – однородное, изотропное, одно и то же во всех направлениях. Я люблю сравнивать его со снежным полем в Сибири, простирающимся во всех направлениях, куда видит глаз. Таким же образом у нас есть это универсальное снежное поле Хиггса, которое является средой, пронизывающей весь космос. Теперь попробуем пересечь хиггсовскую Сибирь. Если мы умные, то у нас будут лыжи, и мы будем очень быстро скользить поверх этого хиггсовского снега. Мы не будем проваливаться, мы не будем взаимодействовать с этим полем Хиггса. Это как частица, не имеющая массы, как фотон. Он не взаимодействует с полем Хиггса. Он как лыжник, который движется очень быстро – в случае фотона всегда со скоростью света.

Но предположим, что на вас снегоступы. В этом случае вы будете проваливаться в снег, и это – аналогия взаимодей-

ствия с полем Хиггса. Вы передвигаетесь медленнее лыжника, что похоже на частицу, которая движется медленнее скорости света, которая имеет массу, может быть, на электрон. Наконец, вы можете оказаться достаточно сумасшедшим, чтобы попробовать пересечь эту хиггсовскую Сибирь вовсе без снаряжения. В этом случае вы погрузитесь очень глубоко. Вы будете сильно взаимодействовать с этим снежным полем Хиггса, будете двигаться гораздо медленнее скорости света, как частица с очень большой массой.

Так из чего сделан снег? Каков квант снежного поля Хиггса? Все мы знаем, что снег состоит из снежинок, так что бозон Хиггса в некотором смысле можно рассматривать как снежинку. И даже если вы думаете, что это ненадежная теория, знайте, что она была подтверждена экспериментом. Однако на это ушло много времени. Вот график, который я украл из журнала *Economist*, и на нем показано, сколько ушло времени на экспериментальное подтверждение существования первоначально гипотетических частиц. В случае бозона Хиггса на это ушло 48 лет – достаточно времени, чтобы Хиггс превратился из волосатого юноши в пожилого человека без волос.

Питер Хиггс и его друзья предложили эти идеи в 1964 году. Мой личный интерес к этому вопросу появился в 1975 году, когда с двумя коллегами, Мари Гайяр и Димитри Нанопулосом, мы пытались выяснить, как эта частица будет выглядеть, о чем в то время мало кто думал. Но мы были край-

не не уверены в этих идеях. Мы не были уверены, что Хиггс не порет чушь. Поэтому мы были осторожны и в конце статьи написали, что мы не поощряем большой эксперимент по поиску бозона Хиггса. К счастью, коллеги-экспериментаторы проигнорировали наш скромный совет.

Как искать бозон Хиггса? Нужно сталкивать частицы очень высоких энергий. Вот модель высокоэнергетического столкновения двух протонов. В таком столкновении рождается множество заряженных частиц и множество нейтральных, и в этой симуляции скрыт бозон Хиггса. Я говорю, что он скрыт, потому что это нейтральная частица, и она не оставляет следов, а кроме того, это очень нестабильная частица, так что напрямую вы ее не увидите в любом случае. Но в этой симуляции она распалась на две частицы очень высокой энергии, вот эти две синие башни справа и еще две желтые линии слева.

Задача экспериментов на БАК состоит в поиске таких вот вещей среди миллиардов и миллиардов других столкновений, среди той кучи мусора, которая тоже производится. Я уже говорил вам, что он большой, 27 км в окружности. В среднем он находится на глубине 100 метров под землей, и когда он работает, тысячи миллиардов частиц, протонов, летят по кругу в противоположных направлениях, сталкиваясь и воссоздавая условия, существовавшие на ранних этапах Большого взрыва.

Просто чтобы подразнить моих друзей-астрофизиков,

позволю вам заглянуть внутрь Большого адронного коллайдера. Там есть трубы, по которым частицы движутся по кругу. Они должны соударяться, так что нужно добиться глубокого вакуума, чтобы протоны сталкивались друг с другом, а не с молекулами газа. Вакуум внутри этих труб лучше того, что был у вас на поверхности Луны. Простите меня за это. Теперь для Джона Мэзера, который сидит во втором ряду, я бы хотел провести сравнение с открытым космосом. Наши магниты охлаждены до температуры в $1,9^{\circ}$ выше абсолютного нуля, в то время как космическое микроволновое излучение имеет температуру в $2,7^{\circ}$ выше абсолютного нуля. Так что я заявляю, что физика частиц на $0,8$ градуса круче, чем космология. Кроме тех случаев, конечно, когда происходит столкновение, потому что при этом на очень короткий момент образуется невероятно маленькое и невероятно горячее пространство, из которого вылетают десятки, сотни, может быть, тысячи частиц, и на короткий момент получается точка с температурой намного, намного выше, чем в центре Солнца.

Потом мы пытаемся зарегистрировать эти частицы, и на БАК идут четыре больших эксперимента, я хочу подчеркнуть, что в эти эксперименты вовлечены тысячи физиков из буквально десятков стран. Это по-настоящему всемирные усилия. Это не просто группа швейцарских парней играет с часами, это настоящая работа мирового масштаба.

Теперь кое-что про открытие бозона Хиггса. Мне кажется-

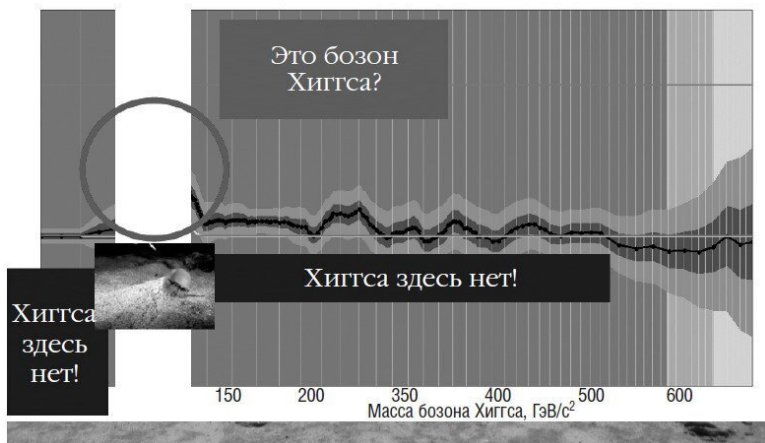
ся, что описать реакцию физиков, занимающихся частицами, на то, что эта частица в конце концов была обнаружена, можно как массовую хиггстерию. И в нескольких экспериментах нам удалось обнаружить следующее. В рамках *ATLAS*, одного из больших экспериментов по поиску бозона Хиггса, увидели такую картину: если вы присмотритесь очень внимательно, вы увидите четыре прямые красные линии, выходящие из столкновения – две вверх и налево и две, выходящие снизу. Это энергичные частицы, которые могли появиться при распаде бозона Хиггса, и это похоже на симуляцию. Это событие увидели и в другом эксперименте по охоте на бозон Хиггса, *CMS*. Его поведение иллюстрируют замеченные в космических лучах линии. Они соответствуют двум частицам с высокой энергией, возможно, очень энергичным фотонам. Они не заряжены, потому что не оставляют за собой следа, и такой распад бозона Хиггса на два фотона был рассчитан нами с Мари Гайяр и Димитрием Нанопулосом в 1975 году.

4 июля 2012 года *ATLAS* и *CMS* осмелились заявить об открытии новой частицы. На другой стороне Атлантики 4 июля отмечается по другому поводу, но у нас, по крайней мере, в то 4 июля, было свое большое празднование.

Что же обнаружили в ходе экспериментов? Что ж, в основном ничего. То, что вы видите здесь, это данные, выбивающие основу из-под известной физики. Они колеблются вверх и вниз, но нет ничего существенного, да? Никакого бозона

Хиггса, не на чем глаз остановить. Но если убрать наложение в середине, вы увидите очень значительный пик. В нем – переизбыток полезных событий, и это то, что, как мы полагаем, и есть бозон Хиггса, наконец появляющийся из шума.

НЕОФИЦИАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ О БОЗОНЕ ХИГГСА



Бозон Хиггса – это важная вещь. Без бозона Хиггса не было бы атомов, потому что у электронов не было бы массы, и они улетали бы от ядра со скоростью света. Не было бы тяжелых ядер, потому что у кварков не было бы массы. Слабые взаимодействия, ответственные за радиоактивность, не

были бы слабыми. Они были бы той же силы, даже сильнее, чем электричество и магнетизм, и жизнь была бы невозможна. Не просто все было бы радиоактивным, но и вселенная была бы совсем не похожа на нашу вселенную.

Когда бозон Хиггса начал играть важную роль во вселенной? Сегодня она заполнена космическим микроволновым фоновым излучением, которое высвободилось при формировании атомов примерно через 380 000 лет после Большого взрыва. До этого не было ни атомов, ни химии, ни биологии, только физика. Когда вы сдвинетесь еще дальше назад, к моменту, когда вселенной было меньше трех минут, вы обнаружите, что там не было ядер, только протоны, электроны, фотоны и т. п. Вот так, никакой ядерной физики тогда еще не было. Если сдвинуться еще, к тому времени, когда от рождения вселенной была одна микросекунда, можно было бы обнаружить, что там не было протонов и нейтронов, вокруг летали только кварки и глюоны. Мы думаем, что если еще сдвинуться к возрасту вселенной в одну пикосекунду, т. е. одну миллионную миллионной доли секунды, то вот это будет тот момент, когда начал свою работу бозон Хиггса, и до этого момента у частиц не было массы.

Возвращаясь к моей аналогии со снежным полем, когда возраст вселенной был одна миллионная одной миллионной доли секунды, вселенная была настолько горяча, что снег не мог выпасть и образовать снежный покров. С помощью БАК мы исследуем временной промежуток от одной микросекун-

ды до одной пикосекунды после Большого взрыва. Мы думаем, что в этот момент, возможно, была произведена темная материя. Это одна из вещей, которые мы сейчас ищем на БАК, и я к этому вернусь через короткое время. Возможно, и само вещество появилось примерно тогда же, когда бозон Хиггса сотворил свое чудо. Продолжая свои эксперименты, мы пытаемся ответить на эти гоговские вопросы.

Ответы на них требуют новой физики, находящейся за пределами стандартной модели, которая описывает видимое вещество во вселенной. Говоря словами Джеймса Бонда, стандартной модели недостаточно³. И ниже я перечислю 007 причин для этого.

Первая причина в том, что пустой космос нестабилен, если нет ничего, кроме стандартной модели, и я вернусь к этому позже. Затем есть вопрос о природе темного вещества и вопрос о появлении вещества как такового. И откуда у нейтрино взялась масса? (это, скорее всего, потребует некоторого расширения механизма Хиггса). Почему слабые взаимодействия так сильны? Что объясняет огромные размеры и возраст вселенной? Причиной ли этому загадочная космологическая инфляция? И как мы создадим квантовую теорию гравитации? Это все нерешенные задачи, с которыми мы сейчас сталкиваемся. Я немного расскажу о паре этих проблем, а затем в гранд-финале вернусь к вопросу о неста-

³ Имеется в виду песня *The World is not Enough* («Этого мира мало») из 19-го эпизода бондианы. — Прим. ред.

бильном космосе.

Астрофизики говорят нам, что если мы хотим понять, как не распадаются галактики и, для начала, как вообще сформировались галактики, нужно учесть, что невидимого слабо взаимодействующего темного вещества должно быть больше, чем того видимого вещества, из которого состоят звезды и состоим мы. Возможно, темное вещество состоит из частиц, одна из идей – это так называемые суперсимметричные частицы. Это партнеры известных частиц, которые вращаются с иной скоростью. Суперсимметричные частицы будут иметь значение спина J , отличное от обычных частиц. Никто их никогда не видел и само их существование на текущий момент весьма спекулятивно. Это одна из тех вещей, которые мы ищем на БАК, особенно при увеличении энергии столкновений. Мы не сможем увидеть частицы темной материи непосредственно, потому что они взаимодействуют слабо. Они нейтральны и не светят, но их можно зарегистрировать косвенно, потому что они невидимо уносят из системы энергию и импульс.

Общественный интерес к физике антивещества поддерживается благодаря сериалу «Звездный путь», хотя часть вины лежит и на Томе Хэнксе. Мы, физики, любим изучать антивещество не потому, что, господи упаси, хотим уничтожить Ватикан, а потому, что мы крайне заинтересованы в небольшой разнице между веществом и антивеществом. Поль Дирак и другие физики думали, что частицы вещества

и антивещества будут одинаковыми в некоторых свойствах, таких как масса, и противоположны в других. Например, у них будет противоположный электрический заряд. Как я говорил выше, антивещество было обнаружено в космических лучах, а теперь оно рутинным образом используется в медицинской диагностике. Не знаю, проходил ли кто-нибудь в этой аудитории ПЭТ-сканирование – похоже, парочка таких тут есть. «П» в ПЭТ означает позитрон, первую из обнаруженных частиц антивещества. Когда люди обнаружили, что на самом деле вещество и антивещество не то чтобы в чем-то одинаковы и в чем-то противоположны, это стало для всех большим сюрпризом. Российский физик Андрей Сахаров предположил, что эта разница может объяснять, почему вселенная сегодня содержит вещество, а не антивещество. Чтобы понять, верно это или нет, в ЦЕРН ведутся специальные эксперименты.

Мы, физики, мечтаем о том времени, когда мы объединим все фундаментальные взаимодействия. В последние десятилетия своей жизни Эйнштейн искал универсальную теорию всего, но не нашел ее. Одной из идей, с которыми играл Эйнштейн, была идея о том, что у пространства могут быть дополнительные измерения. Сегодня это стало очень популярной темой в теориях квантовой гравитации, таких, как теория струн, и в некоторых из этих теорий допускается, что гравитация может стать сильной уже при энергиях, достижимых в БАК, и в таком случае эти эксперименты могут

привести к рождению черных дыр.

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.