

Квантовые поля.

Сессия № 4 – 25 марта 2023 г. – на русский язык перевёл Алекс – оригинальный текст на английском.

Место: Мезза-Верде в Белизе.

Комментарии :

Это стенограмма видео Дэвида Тонга, которое упоминалось в

Сессия № 3 – 2023 г. [Мы обязаны знать – часть 1](#) , чтобы лучше понять, что последует в частях 2–4.

Вивайн.

Настоящие строительные блоки Вселенной

Дэвид Тонг. 15 февраля 2017

[\(4456\) Quantum Fields: The Real Building Blocks of the Universe - with David Tong - YouTube](#)



Сегодня вечером я хотел бы рассказать вам об одном из больших вопросов в науке. Это вопрос, который восходит к древним грекам как минимум две с половиной тысячи лет назад. И этот вопрос обсуждался в этом зале много-много раз за последние 200 лет, но это важный вопрос. И я думаю, что важно, чтобы мы пересмотрели это. И вопрос заключается в следующем - Из чего мы сделаны?

Из каких фундаментальных строительных блоков природы построены вы, я и все остальное во Вселенной? Вот та история, которую я хотел бы вам рассказать. Итак, что я хотел бы сделать, так это попытаться дать вам обзор нашего текущего понимания. Я также хотел бы попытаться дать вам обзор того, куда мы надеемся пойти в будущем, какого прогресса мы можем надеяться достичь в ближайшие несколько лет и несколько десятилетий. И мы собираемся охватить довольно много вопросов в этом выступлении. Я должен предупредить вас, что я собираюсь обсудить буквально каждую вещь во вселенной.

Среди прочего, мы поговорим о том, что происходит на самом мощном в мире коллайдере частиц. Это машина, которая называется Большой адронный коллайдер, или сокращенно БАК. В этом разговоре многое всплывет. И это машина, базирующаяся под землей в месте под названием ЦЕРН, недалеко от Женевы. Мы также поговорим об экспериментах последних нескольких лет, направленных назад во времени, к Большому взрыву, которые дают нам некоторое представление о том, что происходило в первые доли секунды после того, как начало существовать само время. И помимо всего этого, я также хочу дать вам некоторое представление о теоретических абстрактных идеях и даже немного о математике, которая лежит в основе нашего нынешнего понимания Вселенной.

Потому что я физик-теоретик. Что я делаю, так это изучаю уравнения, пытаюсь понять уравнения которые управляют миром, в котором мы живем. Итак, я просто хотел бы дать вам представление о том, о чем идет речь. В какой-то момент... я должен предупредить вас сейчас. В какой-то момент я даже покажу вам уравнение. Знаете, вас могут отправить на обучающие курсы для такого рода вещей.

Есть правило номер один. Правило номер один — никогда не показывать им никаких уравнений. Если вы покажете им уравнения, вы их просто напугаете. В какой-то момент этой лекции вы все будете в ужасе, так что


просто приготовьтесь. ХОРОШО? ХОРОШО.

Знаете, есть традиционный способ начать подобный разговор.

Традиционный способ — быть очень культурным и говорить о том, что Демокрит и Лукреций говорили две с половиной тысячи лет назад, и о представлениях древних греков об атомах. Но знаете, я не хочу так начинать. Мы добились большого прогресса за две с половиной тысячи лет, и знаете, есть способы получше, чтобы начать научную беседу. Итак, первое современное представление о том, из чего состоит Вселенная и все, из чего мы сделаны, таково.... Так что я надеюсь, что это знакомо большинству людей здесь.

Это периодическая таблица элементов.

IUPAC Periodic Table of the Elements

1 H hydrogen [1.007, 1.008]																	18 He helium 4.003
3 Li lithium [6.938, 6.997]	4 Be beryllium 9.012	Key: atomic number Symbol name standard atomic weight										5 B boron [10.80, 10.83]	6 C carbon [12.00, 12.012]	7 N nitrogen [14.00, 14.01]	8 O oxygen [15.99, 16.00]	9 F fluorine 18.99	10 Ne neon 20.18
11 Na sodium 22.99	12 Mg magnesium 24.30, 24.31											13 Al aluminium 26.98	14 Si silicon [28.08, 28.09]	15 P phosphorus 30.97	16 S sulfur [32.05, 32.06]	17 Cl chlorine [35.44, 35.46]	18 Ar argon 39.95
19 K potassium 39.10	20 Ca calcium 40.08	21 Sc scandium 44.96	22 Ti titanium 47.87	23 V vanadium 50.94	24 Cr chromium 52.00	25 Mn manganese 54.94	26 Fe iron 55.85	27 Co cobalt 58.93	28 Ni nickel 58.69	29 Cu copper 63.55	30 Zn zinc [65.38, 65.40]	31 Ga gallium 69.72	32 Ge germanium 72.63	33 As arsenic 74.92	34 Se selenium 78.97	35 Br bromine [79.90, 79.91]	36 Kr krypton 83.80
37 Rb rubidium 85.47	38 Sr strontium 87.62	39 Y yttrium 88.91	40 Zr zirconium 91.22	41 Nb niobium 92.91	42 Mo molybdenum 95.94	43 Tc technetium	44 Ru ruthenium 101.07	45 Rh rhodium 102.91	46 Pd palladium 106.42	47 Ag silver 107.87	48 Cd cadmium 112.41	49 In indium 114.82	50 Sn tin 118.71	51 Sb antimony 121.76	52 Te tellurium 127.60	53 I iodine 126.91	54 Xe xenon 131.30
55 Cs caesium 132.91	56 Ba barium 137.33	57-71 lanthanoids	72 Hf hafnium 178.49	73 Ta tantalum 180.95	74 W tungsten 183.85	75 Re rhenium 186.21	76 Os osmium 190.23	77 Ir iridium 192.22	78 Pt platinum 195.08	79 Au gold 196.97	80 Hg mercury 200.59	81 Tl thallium [204.3, 204.4]	82 Pb lead 207.2	83 Bi bismuth 208.98	84 Po polonium	85 At astatine	86 Rn radon
87 Fr francium	88 Ra radium	89-103 actinoids	104 Rf rutherfordium	105 Db dubnium	106 Sg seaborgium	107 Bh bohrium	108 Hs hassium	109 Mt meitnerium	110 Ds darmstadtium	111 Rg roentgenium	112 Cn copernicium	113 Uut ununtrium	114 Fl flerovium	115 Uup ununpentium	116 Lv livermorium	117 Uus ununseptium	118 Uuo ununoctium
																	
57 La lanthanum 138.91	58 Ce cerium 140.12	59 Pr praseodymium 140.91	60 Nd neodymium 144.24	61 Pm promethium	62 Sm samarium 150.36	63 Eu europium 151.96	64 Gd gadolinium 157.25	65 Tb terbium 158.93	66 Dy dysprosium 162.50	67 Ho holmium 164.93	68 Er erbium 167.26	69 Tm thulium 168.93	70 Yb ytterbium 173.05	71 Lu lutetium 174.97			
89 Ac actinium	90 Th thorium 232.04	91 Pa protactinium 231.04	92 U uranium 238.03	93 Np neptunium	94 Pu plutonium	95 Am americium	96 Cm curium	97 Bk berkelium	98 Cf californium	99 Es einsteinium	100 Fm fermium	101 Md mendelevium	102 No nobelium	103 Lr lawrencium			

For notes and updates to this table, see www.iupac.org. This version is dated 8 January 2016. Copyright © 2016 IUPAC, the International Union of Pure and Applied Chemistry.

ХОРОШО? Это одно из самых знаковых изображений во всей науке. Здесь у нас около 120 различных элементов. Я должен отметить, что не менее 10 из них были обнаружены в этом самом здании и составляют , или по

крайней мере в 1800-х годах считалось, что они составляют все, что существует в природе. Так что это, безусловно правда, что любой материал который вы получаете, вы можете разделить на составные части, и вы обнаружите, что все эти составные части состоят из одного из этих 120 элементов.

Так что это великий момент в науке. Это действительно один из триумфов науки. Должен добавить, что это также причина, по которой я перестал заниматься химией в школе. Потому что, если вы химик, то это (таблица) по сути лучшее что только может быть. Знаете, если честно, это какой-то беспорядок. Все во вселенной классифицируется по элементам слева, которые взрываются, если вы поместите их в воду, и элементам справа, которые, если быть честными, вообще ничего не делают.

Вы как бы организуете все в эти дурацкие формы. И это немного похоже на Австралию. Вверху есть большой провал, а затем есть две полосы элементов, которые вы должны разместить внизу, потому что для них нет места посередине, где они должны быть. Знаете, не знаю как вам, если бы меня попросили придумать фундаментальную классификацию всего во Вселенной, я бы не стал этого делать. Есть ли среди зрителей химики? [СМЕЕТСЯ] Мне вас жаль.

ХОРОШО. Но знаете, я не одинок в этом. Не только я думаю, что это глупый способ организации природы. Сама природа думает, что это глупый способ организации природы. Конечно, мы знаем, что это не главное — это не конец истории. Это не основные строительные блоки.

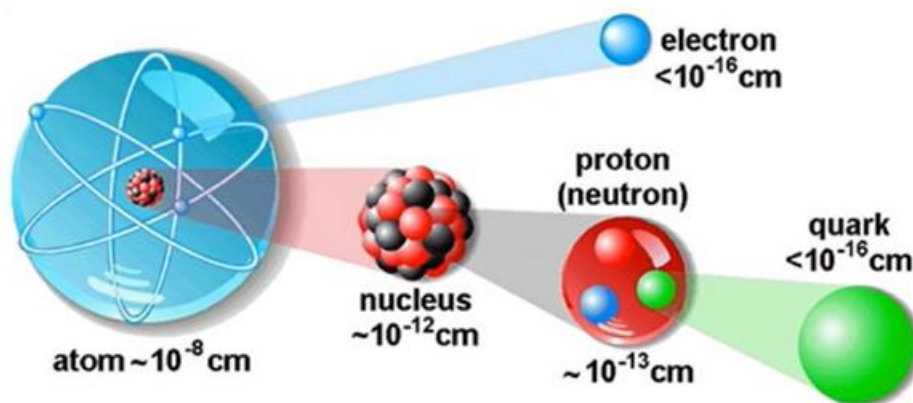
И первым, кто понял, что есть нечто более глубокое, был кембриджский физик по имени Джозеф Томсон. Итак, в конце 1800-х годов Джозеф Томсон открыл частицу, которая была меньше атома и которую мы теперь называем электроном. И в 1897 году он объявил об этом в этой комнате — фактически, в этой самой серии лекций — ошеломленной аудитории, которая была настолько ошеломлена, что по крайней мере половина из них

не поверила тому, что он говорил. Был один очень выдающийся ученый, который впоследствии сказал Д. Томсону, что считает все это мистификацией, что Д.Томсон просто дурачился. Но конечно это не обман. Это не основные элементы природы.

И в течение 15 лет после открытия Д. Томсона его преемник в Кембридже, человек по имени Эрнест Резерфорд, точно выяснил, из чего состоят эти атомы .

И это картина, которую придумал Резерфорд.

Inside the atom



Теперь мы знаем, что каждый из этих элементов состоит из

- ядро, которое является крошечным. Метафора, которую использовал сам Резерфорд, была похожа на муху в центре собора. А затем, вращаясь вокруг этого ядра, я должен добавить, довольно размытыми орбитами,
- это электроны, которые как бы очень редко заполняют остальную часть пространства. Вот картина этих атомов.

Впоследствии мы узнали, что ядро само по себе не является фундаментальным.

Ядро содержит **более** мелкие частицы. Это частицы, которые мы называем

- **протоны** и **нейтроны** .

А в 1970-х мы узнали, что протоны и нейтроны тоже не являются фундаментальными. Итак, в 1970-х годах мы узнали, что внутри каждого протона и нейтрона

- три меньшие частицы, которые мы называем **кварками** . Есть два разных вида кварков.

К 1970-м годам, я полагаю, у физиков не было классического греческого образования, и у них закончились престижные имена.

Поэтому мы называем эти кварки

- **верхний кварк** и
- **нижний кварк** .

ХОРОШО? Без уважительной причины. **Верхний кварк** не выше **нижнего кварка** . Не похоже, что он указывает вверх.

Просто без веской причины. У нас есть *верхний кварк* и *нижний кварк* .

Итак, **протон** состоит из

- двух *верхних кварков* и
- один *нижний кварк* .

А **нейтрон** состоит из

- двух *нижних кварков* и
- один *верхний кварк* .

Насколько нам известно, **это фундаментальные строительные блоки природы** . Мы никогда не открывали ничего меньше, чем электрон, и мы никогда не открывали ничего меньше, чем кварки.

Итак, у нас есть три частицы, из которых состоит все, что мы знаем. И стоит подчеркнуть, это довольно удивительно. Вы знаете ? Мы как бы принимаем это как должное. Мы учимся этому в школе. Мы действительно

не задумываемся об этом глубоко.

Все, что мы видим в мире, все разнообразие в мире природы, вы, я, все, что нас окружает, — одни и те же три частицы с несколько иными перестановками, повторяющиеся снова и снова. Это удивительный урок рисования о том, как устроен мир. Вот что у нас есть. У нас есть электрон и два кварка. И вы знаете, это не фундаментальные строительные блоки, о которых думали греки, и уж точно не те фундаментальные строительные блоки, о которых думали викторианцы. Но вы знаете, суть вопроса на самом деле не изменилась.

По сути — это именно то, что Демокрит сказал 2500 лет назад, что они подобны кирпичикам LEGO, из которых построено все в мире. Эти кубики LEGO — это частицы, а частицы — это электрон и два кварка. Это очень красивая картина. Это очень утешительная картина. Это картина, которую мы учим детей в школе. Этой картине мы даже обучаем студентов в университете.

И есть проблема с этим. Проблема в том, что это ложь. Это белая ложь. Это ложь во спасение, которую мы рассказываем нашим детям, потому что не хотим открывать им трудную и ужасную правду слишком рано. Вам будет легче учиться, если вы верите, что эти частицы являются фундаментальными строительными блоками Вселенной. Но это просто неправда.

Лучшие теории физики, которые у нас есть, не имеют в основе [частиц электрона](#) и [двух кварковых частиц](#). На самом деле, самые лучшие из имеющихся у нас физических теорий вообще не полагаются на частицы. Лучшие теории которые у нас есть, говорят нам, что фундаментальными строительными блоками природы являются не частицы, а нечто гораздо более расплывчатое и абстрактное. Фундаментальные строительные блоки природы представляют собой текучие субстанции, которые разбросаны по всей Вселенной и колеблются странным и интересным образом. Это

фундаментальная реальность, в которой мы живем.

Для этих жидких субстанций у нас есть название.

Мы называем их **Полями**. Итак, это картина поля.

Fields



Это не то поле, которое имеют в виду физики. Вы знаете, это то, что вы думаете о поле, если вы фермер или обычный человек. Если вы физик, у вас в голове возникает совсем другая картина, когда вы думаете о полях. И я дам вам общее определение поля, а затем мы рассмотрим несколько примеров, чтобы вы с этим ознакомились.

Физическое определение поля следующее. Это то, что, как я уже сказал, распространено повсюду во Вселенной. Это то, что принимает определенное значение в каждой точке пространства. Более того, это значение может меняться со временем. Таким образом, хорошая картина для вашего ума — это текучая картина, которая колеблется и колеблется по всей вселенной. Это не новая идея.

Это не идея, которую мы только что придумали. Это идея, которой почти 200 лет. И, как и многое другое в науке, эта идея родилась в этой самой комнате. Потому что, как я уверен, многие из вас знают, это дом Майкла

Фарадея (Кембриджский университет). И Майкл Фарадей инициировал эту серию лекций в 1825 году. Он прочитал более сотни таких вечерних лекций по пятницам, и подавляющее большинство из них было посвящено его собственным открытиям в экспериментах, которые он проводил с **электричеством и магнетизмом** .

Так что он сделал очень много вещей в области электричества и магнетизма за многие десятилетия. И при этом у него появилась интуиция о том, как работают электрические и магнитные явления. И эта интуиция - то, что мы сейчас называем

электрическое и магнитное поле.

Фарадей.

Итак, он предвидел, что всё в космосе пронизывают невидимые объекты, называемые электрическими и магнитными полями. Так вот, мы учились этому в школе. Опять же, это то, что мы принимаем как должное, потому что узнали об этом в раннем возрасте, и мы как бы не осознаем, насколько большим радикальным шагом является эта идея Фарадея.

Я хочу подчеркнуть, это одна из самых революционных абстрактных идей в истории науки, что эти электрические и магнитные поля существуют.

Итак, позвольте мне просто... продемонстрировать вам это. Я не просто физик-теоретик. Я очень теоретический- физик. Мне очень трудно проводить какие-либо эксперименты, которые сработают. Но я просто собираюсь показать вам то, что вы уже видели.



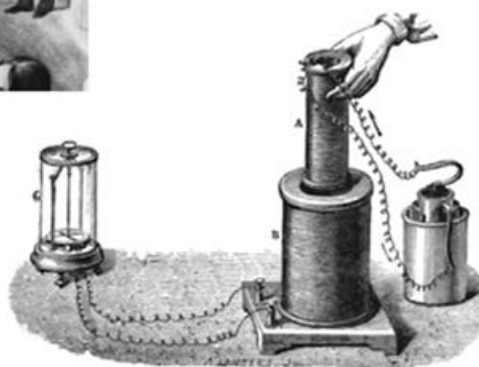
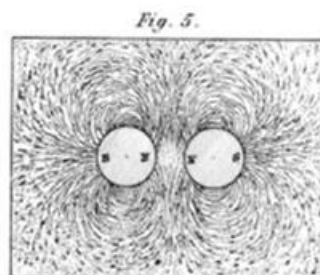
Это магниты. ХОРОШО? И все мы играли в эти игры, когда были детьми или когда учились в школе. Вы берете эти магниты и двигаете их вместе. И по мере того, как они становятся все ближе и ближе, есть сила, которую вы можете просто почувствовать, она нарастает, и создаёт давление которое давит на эти два магнита. И не важно, как часто ты это делаешь, и не важно сколько у тебя ученых степеней по физике.

Это просто немного волшебно. Вы знаете ? И вы все это знаете. Есть что-то особенное в этом странном ощущении, которое возникает между магнитами. И в этом был гений Фарадея. Он сказал, что нужно понимать, что даже если вы ничего не видите между ними, даже если как бы вы ни смотрели внимательно, пространство между этими магнитами будет казаться пустым, тем не менее, он сказал, что там есть что-то реальное.

Есть что-то реальное и физическое, невидимое, но оно накапливается, и это то, что отвечает за силу. Поэтому он назвал их *силовыми линиями* . Теперь мы называем это **магнитным полем** . Так что это, конечно же, портрет Майкла Фарадея. Это фотография Майкла Фарадея, читающего

лекцию за этим самым столом. Вот рисунок из одной из статей Майкла Фарадея.

The electric and magnetic fields



23:10

На это мне указывали ранее. Когда входите, здесь есть ковер. На ковре есть этот узор, эта картина просто повторяется на нем снова и снова. А внизу — одна из самых известных демонстраций Майкла Фарадея, которые он здесь провел. Итак, я просто покажу вам, что сделал Фарадей. То, что справа, это небольшая катушка с рукой на ней.

Это батарея, и батарея пропускает ток по этой катушке. И при этом в ней индуцируется магнитное поле. Это так называемый *соленоид*. И тогда Фарадей сделал следующее. Он просто переместил эту *маленькую катушку А* через *большую катушку В* - вот так. И случилось чудо.

Когда вы это делаете, возникает *движущееся* магнитное поле. Великим открытием Фарадея была **индукция**. Это вызывает ток в В, который затем на этом конце стола заставляет стрелку мерцать вот так. Так предельно

просто. Вы перемещаете магнитное поле, и оно порождает ток, который заставляет мерцать стрелку на другой стороне стола. Это поразило публику в 1800-х годах.

Потому что вы что-то делали и воздействовали на иглу на другом конце стола, но вы не прикасались к игле. Это было потрясающе. Вы можете заставить что-то двигаться, даже не приближаясь к нему, даже не прикасаясь к нему. Мы немного измучены в эти дни. Вы можете провести такой же эксперимент. Вы можете взять свой мобильный телефон. Вы можете нажать несколько кнопок. Вы можете позвонить кому-нибудь на другом конце земли за считанные секунды. Но это тот же принцип. Но это был первый раз, когда было продемонстрировано, **что поле** настоящее . Вы можете общаться с помощью поля. **Вы можете воздействовать на вещи, находящиеся далеко, используя поле, даже не касаясь его** .

Так что это наследие Майкла Фарадея. В мире есть не только частицы. **Есть и другие объекты, немного более тонкие, называемые полями, разбросанными по всему пространству** . Кстати, если вы когда-нибудь захотите по-настоящему оценить гениальность Майкла Фарадея, знайте, что он прочитал эту лекцию в 1846 году. В 1846 году он прочитал много лекций. Но одну, он закончил на 20 минут раньше.

Ему нечего было сказать, поэтому он минут 20 занимался какими-то досужими рассуждениями. И Фарадей предположил, что эти невидимые электрические и магнитные поля, которые он постулировал, были буквально единственным, что мы когда-либо видели. Он предположил, что это колебания электрического и магнитного поля, которые мы называем светом. Таким образом, людям как Максвелл и Герц, потребовалось 50 лет, чтобы подтвердить, что это действительно то, из чего состоит свет, но именно гений Фарадея заметил, что в электрическом магнитном поле существуют волны, и эти волны и есть свет . **что мы видим** вокруг себя. ХОРОШО. Так что это наследие Фарадея.

Но оказывается, что эта идея полей была гораздо важнее, чем предполагал

Фарадей. И нам потребовалось более 150 лет, чтобы оценить важность этих месторождений. Итак, за эти 150 лет произошла маленькая революция в науке. В 1920-х годах мы поняли, что мир очень, очень отличается от представлений здравого смысла, которые Ньютон и Галилей передали нам столетия назад. Итак, в 1920-х годах такие люди, как Гейзенберг и Шредингер осознали, что в мельчайших масштабах, в микроскопических масштабах мир гораздо более загадочен и нелогичен, чем мы когда-либо могли себе представить. Это конечно, и есть теория которую мы сейчас знаем как **квантовую механику**.

Я могу многое рассказать о квантовой механике. Позвольте мне сказать вам одну из изюминок квантовой механики. Одна из изюминок в том, что энергия не непрерывна. **Энергия в мире всегда распределена на какие-то маленькие дискретные части** . Именно это и означает слово «квант».

Квант означает дискретный или часть . Итак, самое интересное начинается, когда вы пытаетесь взять идеи квантовой механики, которые говорят, что вещи должны быть дискретными, и вы пытаетесь объединить их с **идеями Фарадея о полях** , которые в значительной степени являются непрерывными, гладкими объектами, **которые колеблются и колеблются. в космосе** .

Квантовая теория поля это :

идея попытаться объединить эти две теории вместе.

Смысл квантовой теории поля таков:

- **Световые волны состоят из частиц: ФОТОНОВ** .

Первое следствие — это то, что происходит с электрическим и магнитным полем. Итак, Фарадей научил нас, а позже Максвелл, что волны электромагнитного поля — это то, что мы называем светом. Но когда вы примените к этому квантовую механику, вы обнаружите, что эти световые волны не такие гладкие и непрерывные, какими они казались. Итак, если вы внимательно посмотрите на **световые волны, вы обнаружите, что они состоят из частиц** .

- **Электронное поле.**

Это маленькие частицы света, и это частицы, которые мы называем фотонами. Магия этой идеи заключается в том, что тот же принцип применим к любой другой частице во Вселенной. Итак, повсюду в этой комнате распространяется то, что мы называем **электронным полем** . Это как жидкость, которая заполняет эту комнату и, по сути, всю вселенную . И рябь этой электронной жидкости, **рябь волн этой жидкости связываются в маленькие сгустки энергии** по правилам квантовой механики, и эти сгустки энергии и есть то, что мы называем частицей, **электроном** .

- **Мы все связаны друг с другом.**

Все электроны, которые есть в вашем теле, не являются фундаментальными. **Все электроны, существующие в вашем теле, являются волнами одного и того же основного поля** . И мы все связаны друг с другом. Точно так же, как все океанские волны принадлежат одному и тому же океану, **электроны в вашем теле — это рябь того же поля, что и электроны в моем теле.** Но это ещё не всё .

- **Два кварковых поля** .

Также в этой комнате есть два кварковых поля. И рябь этих двух кварковых полей порождает то, что мы называем

- **Верхний кварк** и

- **нижний кварк** .

И то же самое верно для любого другого вида частиц во Вселенной. **Есть поля, лежащие в основе всего** . А то, что мы считаем частицами, на самом деле вовсе не частицы.

Частицы — это волны этих полей, связанные в маленькие сгустки энергии . Это наследие Фарадея. Вот куда нас привело Фарадеевское видение полей. В мире не существует частиц.

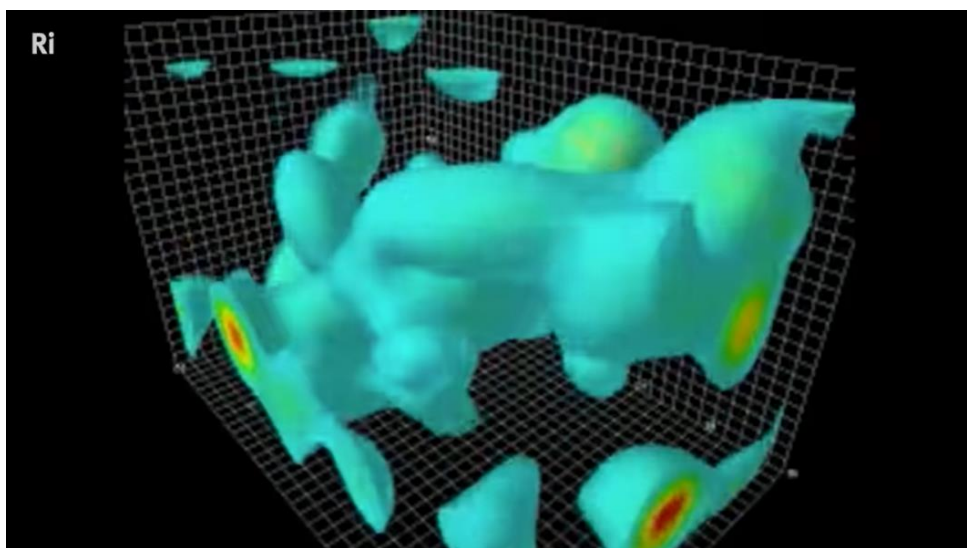
Основные фундаментальные строительные блоки нашей вселенной
это жидкие субстанции, которые мы называем полями .

Итак, что я хочу сделать в оставшейся части этого выступления, так это рассказать вам, куда ведёт нас это видение. Я хочу рассказать вам о том, что значит, что **мы не сделаны из частиц** .

Мы сделаны из полей.

И я хочу рассказать вам, что мы можем с этим сделать, и как мы можем лучше всего понять вселенную вокруг нас. ХОРОШО? Итак, вот первое. Возьмите коробку и вытащите из нее все, что существует. Выньте все частицы из коробки, все атомы из коробки. То, что у вас осталось, это чистый вакуум.

А вот так выглядит **вакуум** .



Итак, то что вы видите здесь — это компьютерная симуляция с использованием нашей лучшей теории физики того, что называется стандартной моделью, которую я представлю позже. Но **это компьютерная симуляция абсолютного ничего** . Это пустое пространство. **Буквально пустое пространство, в котором ничего нет** . Это самое простое, что вы можете себе представить во Вселенной.

И вы можете видеть, это интересное место, пустое место. Это не скучно и скучно. Здесь вы видите, что даже **когда частицы удалены, поле все еще**

существует . Поле есть. Но более того, **это поле подчиняется правилам квантовой механики** . И в квантовой механике есть принцип, который называется

- Принцип неопределенности Гейзенберга, который гласит
- **тебе не позволено сидеть на месте** . И поле должно подчиняться этому.

Таким образом, даже когда там больше ничего нет, поле постоянно пузырится и колеблется, что, честно говоря, очень сложно. Это то, что мы называем **квантовыми флуктуациями вакуума** .

Но именно так выглядит **ничто с точки зрения наших нынешних физических теорий**. Стоит сказать, что это компьютерная симуляция. Это немного похоже на мультфильм, но на самом деле это довольно мощная компьютерная симуляция, и на ее создание ушло много времени.

Но они не только теоретические. Эти квантовые флуктуации, присутствующие в чистом вакууме, мы можем измерить. Есть нечто, называемое силой Казимира. Сила Казимира — это сила между двумя металлическими пластинами, которые сталкиваются друг с другом в основном потому, что снаружи их больше, чем внутри. И знаете, они настоящие. Это вещи, которые мы можем измерить, и они ведут себя именно так, как мы и предсказывали, исходя из наших теорий.

Так что это ничто . И это подводит меня к более математической стороне разговора. Потому что в этом есть вызов. Это самое простое, что мы можем себе представить во всей вселенной, и это сложно. Это удивительно сложно и проще не бывает.

Знаете, если вы сейчас хотите понять , к примеру одну частицу, и гораздо сложнее, если вы хотите понять, что-то от 10 до 23 частиц делающих что-то интересное, это действительно намного сложнее. Итак, есть проблема — это моя проблема, а не ваша — в том, чтобы обратиться к этому фундаментальному описанию вселенной, а именно в том, что это просто сложно. Математика, которую мы используем для описания квантовых

полей, для описания всего, из чего мы состоим, в терминах квантовых полей, значительно сложнее, чем математика, возникающая в любой другой области физики или науки. Это действительно сложно. Я могу представить это в некоторой перспективе.

[Есть список из шести открытых задач по математике.](#)

Они считаются шестью самыми сложными задачами в математике. Раньше их было семь, но какой-то сумасшедший русский парень разгадал одну из них. Значит, осталось шесть. Вы выиграете миллион долларов, если сможете решить любую из этих задач. Если вы немного разбираетесь в математике, это такие вещи, как гипотеза Римана или P против NP .

Это очень сложные задачи. Это одна из тех шести проблем. Вы выиграете миллион долларов, если поймете это. Что это значит? Это не значит, что вы можете построить большой компьютер и просто продемонстрировать, что они есть. Это означает, что вы можете понять из первых принципов, решая уравнения, закономерности, возникающие в этих квантовых флуктуациях?

Это чрезвычайно трудная проблема. Знаете, я не знаю ни одного человека в мире, который действительно работает над этой проблемой. Вот как это тяжело. На самом деле мы даже не знаем, как начать понимать такого рода идеи в квантовой теории поля.

Эта тема о том, что математика является сложной задачей, — это то, к чему мы вернемся позже в ходе выступления. Итак, я хотел бы немного отвлечься на несколько минут и дать вам представление о том, что мы можем делать математически и чего мы не можем делать математически, просто чтобы рассказать вам, каково положение дел с точки зрения понимания этих теорий, называемых квантовыми теориями поля, которые лежат в основе нашей Вселенной. Так что бывают времена, когда мы очень хорошо понимаем, что происходит с квантовыми полями. И это происходит в основном, когда эти колебания очень спокойные и ручные, когда они не дикие и сильные. Когда они намного спокойнее, когда вакуум больше

похож на мельничный пруд, чем на бушующий шторм, в таких случаях нам действительно кажется, что мы понимаем, что делаем.

И чтобы проиллюстрировать это, я просто хочу привести вам этот пример.

Таким образом, это число « **g** » является особым свойством электронной частицы.

И я быстро объясню, что это такое.

Sometimes we understand it...

$$g = 2.0023193043617 \pm 3$$

$$g = 2.00231930436...$$

Электрон — это частица, и получается, что электрон крутится. Он вращается по орбите подобно орбите Земли. И у него есть ось вращения.

И вы можете изменить ось этого вращения. И способ, которым вы меняете это, заключается в том, что вы берете магнитное поле, а при наличии магнитного поля электрон будет вращаться. Электрон останется на одном месте, но будет вращаться. И тогда ось вращения будет медленно изменяться - вот так. Это то, что называется прецессией.

И скорость, с которой вращается ось этого вращения, диктуется здесь этим числом - **g** . Но это не самое главное в общей картине. Однако исторически это было чрезвычайно важно в истории физики, потому что оказалось, что это число можно очень и очень точно измерить, проводя эксперименты. Таким образом, это число послужило нам своего рода полигоном для проверки того, насколько хорошо мы понимаем теории, лежащие в основе

природы и в частности квантовую теорию поля. Итак, позвольте мне рассказать вам, на что вы смотрите здесь.

Первое число — результат многих, многих десятилетий кропотливых экспериментов, очень и очень точно измеряющих эту особенность электрона. Это называется магнитным моментом. А второе число — результат многих, многих десятилетий очень мучительных вычислений, когда мы сидели с ручкой и бумагой и пытались предсказать из первых принципов квантовой теории поля, каким должен быть магнитный момент электронов. И вы видите, это просто потрясающе. И нигде больше в науке нет такого совпадения между теоретическим расчетом и экспериментальными измерениями. Я думаю, что это 12 или 13 значные числа.

Это действительно удивительно. В любой другой области науки вы будете прыгать от радости, если угадаете первые два числа правильно. Экономика, даже не рядом. [СМЕЕТСЯ] Просто это то, где мы находимся в физике элементарных частиц в хороший день, когда мы действительно понимаем, что мы с ней делаем. Это существенно лучше, чем в любой другой области науки.

Но это, конечно, я вам показал, потому что это наш лучший результат. Есть много других результатов, которые далеко не так хороши. И трудность возникает, когда эти квантовые флуктуации вакуума становятся все более и более сильными. Итак, позвольте мне привести вам пример. У нас должна быть возможность сесть и вычислить из первых принципов массу протона. У нас есть уравнения.

Все должно быть на месте. Нам просто нужно много работать и выяснить, какова масса протона, просто выполнив вычисления. Мы пытаемся сделать это уже около 40 лет. Мы можем получить его с точностью до 3%. Что неплохо. Мы достигли 3%.

Но мы должны быть намного, намного лучше. Мы должны как бы продвигать эти уровни точности. И причина очень проста. У нас есть правильное уравнение. Мы почти уверены, что решаем правильное уравнение. Просто мы недостаточно умны, чтобы решить эту проблему.

За 40 лет самые мощные в мире компьютеры, много-много умных людей. Но нам так и не удалось это выяснить. Есть и другие ситуации, о которых я не буду рассказывать, когда мы даже не начали понимать. Бывают ситуации, когда по довольно тонким причинам мы не можем использовать компьютеры, чтобы помочь нам, и мы просто понятия не имеем, что делаем. Так что это немного странная ситуация.

У нас есть эти теории физики. Как видите, это лучшие теории, которые мы когда-либо разрабатывали. Но в то же время, это также теории, которые мы понимаем меньше всего, и для того, чтобы добиться прогресса, у нас есть этот странный баланс между расширением нашего теоретического понимания и выяснением того, как применить это к экспериментам, которые мы проводим. И снова я вернусь к этой теме в конце лекции. До сих пор я говорил в общих чертах о том, из чего мы сделаны.

И это кульминация середины выступления. Вы все сделаны из квантовых полей, а я их не понимаю. По крайней мере, я не понимаю их так хорошо, как я думаю, что должен. Итак, что я хочу сейчас сделать, так это углубиться в детали. Я хочу точно сказать вам, из чего состоят квантовые поля. На самом деле, я вам точно скажу, какие квантовые поля существуют во Вселенной.

И хорошая новость в том, что их не так много. Так что я просто расскажу вам все . Итак, мы начали с периодической таблицы.

Это новая периодическая таблица .

И это намного проще. Знаете, так намного понятнее.

The new periodic table



Есть три частицы, из которых мы все сделаны.

- **электрон** и
- два кварка: « **верхний кварк**» и « **нижний кварк**» .

И как я уже подчеркивал, частицы не фундаментальны. Что действительно фундаментально, так это поле, лежащее в их основе. А потом оказывается, что есть четвертая частица, которую я до сих пор не обсуждал. Она называется

- **нейтрин** .

Он не играет роль в том из чего мы сделаны, но она играет еще одну важную роль в другом месте во Вселенной. Эти нейтрин повсюду. Вы никогда не замечали их, но с тех пор как я начал этот разговор, примерно от 10 до 14 из них пронеслись через тело каждого из вас, столько же пришло сверху из космоса, сколько пришло снизу, потому что они текут сквозь землю, а затем продолжают свой путь. Они не очень общительны. Они не взаимодействуют. Так вот из чего все сделано.

Эти четыре частицы, составляющие основу нашей Вселенной. За исключением того, что произошло что-то довольно странное. По причине, которую мы совершенно не понимаем, природа решила взять эти четыре частицы и воспроизвести их дважды. Так что на самом деле это список всех полей, из которых состоят частицы в нашей Вселенной. Итак, что мы здесь видим ?

The new periodic table

electron 1	electron neutrino 10^{-6}	up quark 8	down quark 4
muon 200	muon neutrino 10^{-6}	strange quark 200	charm quark 2000
tau 3000	tau neutrino 10^{-6}	bottom quark 8000	top quark 340,000

Это электрон.

Оказывается, есть еще две частицы, которые во всех отношениях ведут себя точно так же, как электрон, за исключением того, что они тяжелее.

Мы называем их

- **мюон** масса которого примерно в 200 раз больше массы электрона, и
- **тау**, которая в 3000 раз тяжелее электрона. Почему они здесь? Мы вообще понятия не имеем. Это одна из загадок Вселенной.
- Есть еще **два нейтрино**.
- - **мюонный нейтрин**
- - **тау-нейтрин**

Таким образом, **всего три нейтрино**.

И к двум кваркам, о которых мы впервые узнали, теперь присоединился четыре других кварка, которые мы называем

- **странный кварк** и
- **очарованный кварк**. А потом, к тому времени, когда мы добрались

сюда, у нас действительно закончилось какое-либо вдохновение для того, чтобы давать им имена. Мы назвали их

- **нижайший кварк** и
- **высший кварк.**

Так что я должен подчеркнуть. Мы понимаем, всё очень хорошо идя таким путём .

Мы понимаем, почему они входят в группу из четырех. Мы понимаем, почему они обладают такими свойствами. Но мы вообще не понимаем, как это происходит. Мы не знаем, почему их три, а не два или 17. Это загадка. Но это все.

Это все во Вселенной.

Все, из чего ты сделан, это эти трое наверху . И только когда вы переходите к более экзотическим ситуациям, таким как коллайдеры частиц, нам нужны остальные внизу.

Но все, что мы когда-либо видели, может быть сделано из этих

- **12 частиц** и
- **12 полей.**

Эти **12 полей взаимодействуют друг с другом** , и они взаимодействуют посредством **четырех различных сил** . Два из них очень знакомы.

Это

- сила **тяжести** - t
- сила **электромагнетизма** . Но есть также две другие силы, которые действуют только в малых масштабах ядра. Так что есть что-то под названием -
- сильное **ядерное взаимодействие** , которое удерживает кварки вместе внутри протонов и нейтронов. И есть что-то под названием
- слабое **ядерное взаимодействие** , ответственное за радиоактивный распад и среди прочего за то, что солнце светит.

Опять же, каждая из этих сил **связана с полем** . Итак, Фарадей учил нас

электромагнитному полю, но есть поля, связанные с этим которые называются

- глюонное поле и
- поле W и
- Поле Z -бозона .

Гравитационное поле :

Существует также поле связанное с гравитацией. И это было действительно великое прозрение Эйнштейном. Поле связанное с гравитацией оказывается

- **пространство и** само время. Так что, если вы никогда раньше этого не слышали, то это было самое короткое в мире введение в общую теорию относительности. И я не собираюсь больше ничего говорить об этом. Я просто дам вам разобраться в этом самим.

Итак, это вселенная в которой мы живем:

- **Поле материи**

Есть 12 полей, создающих материю . Я назову их « *полям материи* »,а

- **Силы**

Есть четыре других поля, которые являются силами.

Мир в котором мы живём представляет собой комбинацию 16 полей, взаимодействующих друг с другом интересным образом. Вот на что по нашему мнению похожа Вселенная.

Вселенная наполнена этими полями, жидкоподобными субстанциями.

12 материй и четыре силы. Одно из полей материи начинает колебаться и пульсировать. Скажем, поле электронов начинает колебаться вверх и вниз, потому что там есть электроны. Это запустит одно из других полей. Это запустит скажем электромагнитное поле, которое в свою очередь, тоже будет колебаться и пульсировать. Будет свет который излучается.

Он будет немного колебаться. В какой-то момент он начнет взаимодействовать с кварковым полем, которое в свою очередь будет

колебаться и пульсировать.

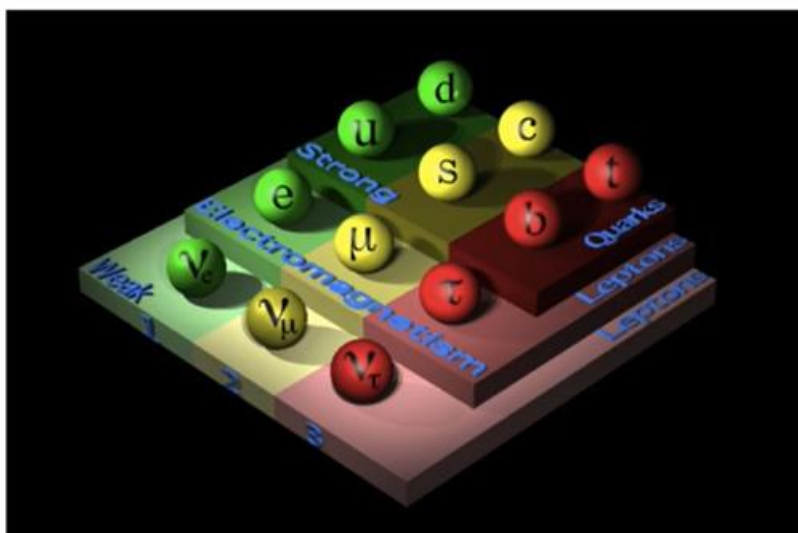
И картина которую мы получаем в итоге — это гармоничный танец между всеми этими полями, переплетающимися друг с другом, раскачивающимися, двигающимися туда-сюда . Это картина, которую мы имеем в отношении фундаментальных законов физики. У нас есть теория, которая лежит в основе всего этого. Проще говоря, это вершина науки.

Это величайшая теория, которую мы когда-либо придумали. Мы дали ему самое поразительно вздорное имя, о котором вы когда-либо слышали.

Мы называем это **стандартной моделью** . Когда вы слышите название стандартной модели, оно звучит утомительно и обыденно.

Ее действительно следует называть «Величайшей теорией в истории человеческой цивилизации» .

The standard model



Это то, на что мы смотрим. Так что это все, кроме того, что это не совсем так. Я на самом деле пропустил одно поле. Есть еще одна вещь, о которой мы знаем, которая стала довольно известной в последние годы. Впервые это поле было предложено в 1960-х годах шотландским физиком Питером Хиггсом.

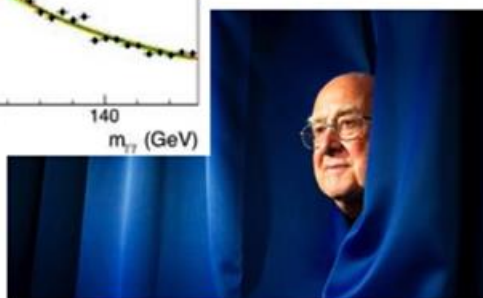
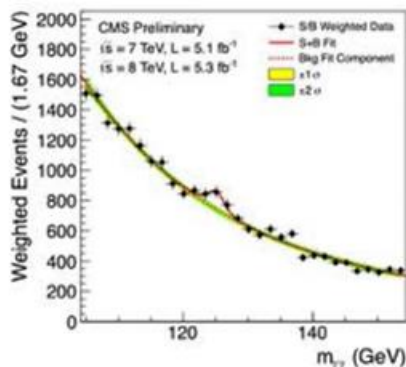
А к 1970-м годам она стала неотъемлемой частью наших представлений о Вселенной. Но в течение очень долгого времени у нас не было прямых

экспериментальных доказательств того, что это существует, тогда как прямые экспериментальные доказательства означают, что мы создаем рьябь этого поля Хиггса, чтобы мы видели связанную с ним частицу. И это изменилось.

Все изменилось четыре года назад на ЛHC (*Большой адронный коллайдер, построенный в ЦЕРНе, Швейцария, — это самый большой в мире коллайдер частиц с самой высокой энергией*) .

Это два эксперимента БАК, которые открыли его. Они размером с собор и просто набиты электроникой.

The Higgs field



The particle is the “Higgs boson”. It is about 2.4×10^6 heavier than the electron

Это удивительные вещи.

- Картинка выше называется *Атлас* .
- Другой ниже называется *CMS* .

Эта частица Хиггса не живет долго. Частица Хиггса существует примерно от 10 до минус 22 секунд. Так что это не похоже на то, что вы видите это, и можете сфотографировать это и разместить в Instagram.

Это немного более тонко. Итак, это данные, и эта небольшая выпуклость показывает, как мы узнали, что эта частица Хиггса, называемая «бозоном

Хиггса», существовала. Это фотография Питера Хиггса, которого нашли. И это был **последний строительный блок** . Знаешь, это было важно. Это было действительно большое дело.

И это было важно по двум причинам.

1) Во-первых, это то, что отвечает за то, что мы называем « **массой** »

во Вселенной. Итак, свойства всех частиц, такие как

- электрический **заряд** и

- **масса** ,

на самом деле являются утверждением о том, как их поля взаимодействуют с другими полями. Таким образом, свойство,

которое мы называем **электрическим зарядом электрона**,

представляет собой утверждение о том , **как поле электрона**

взаимодействует с электромагнитным полем . А свойство его **массы**

есть утверждение о том, **как оно взаимодействует с полем Хиггса** .

Поэтому понимание этого было действительно необходимо, чтобы мы поняли значение массы во Вселенной. Так что это было большое дело.

2) Другая причина, по которой это имело большое значение,

заключалась в том, что это была последняя часть наших пазлов. У

нас была эта теория, которую мы называли **стандартной моделью** . Она

у нас с 1970-х годов. Это было последнее, что нам нужно было

обнаружить, чтобы убедиться, что эта теория верна.

Удивительно то, что эта частица была предсказана в 1960-х годах. -50 лет мы ждали. Наконец-то мы создали его в ЦЕРНе. Она ведет себя именно так, как мы думали. Абсолютно идеально ведет себя так, как мы и предсказывали, используя эти теории.

Далее будет страшная часть разговора.

Я рассказывал вам об этой теории. И я махала руками притворяясь, что я поле. Позвольте мне рассказать вам, что такое теория на самом деле.

Позвольте мне просто показать вам, что мы делаем.

Это уравнение стандартной модели физики.

The theory of everything (so far)

$$Z = \int \mathcal{D}(\text{Fields}) \exp \left(i \int d^4x \sqrt{-g} (R - F_{\mu\nu}F^{\mu\nu} - G_{\mu\nu}G^{\mu\nu} - W_{\mu\nu}W^{\mu\nu} + \sum_i \bar{\psi}_i \not{D}\psi_i + \mathcal{D}_\mu H^\dagger \mathcal{D}^\mu H - V(H) - \lambda_{ij} \bar{\psi}_i H \psi_j) \right)$$

Я не ожидаю, что вы поймете это , не в последнюю очередь потому, что есть части этого уравнения, которые *никто на планете не понимает* .

Но тем не менее, я хочу показать его вам по следующей причине.

Это уравнение правильно предсказывает результат каждого отдельного эксперимента, который мы когда-либо проводили в науке. Все содержится в этом уравнении. Это действительно вершина редукционистского подхода к науке. Всё здесь.

Так что я признаю.

Это не самое простое уравнение в мире. Но и не самое сложное. Если хотите, можете сделать его на футболке. На самом деле, если вы поедете в ЦЕРН, вы можете купить футболку с этим уравнением. Позвольте мне просто дать вам представление о том, на что мы смотрим.

[Первый термин здесь был записан Альбертом Эйнштейном и описывает гравитацию](#) .

Это означает, что если бы вы могли решить эту маленькую часть

уравнения, всего лишь это **R**, вы могли бы, например, предсказать, как быстро яблоко падает с дерева, или тот факт, что орбиты планеты вокруг Солнца формируют эллипсы. Или вы можете предсказать, что произойдет, когда две огромные черные дыры столкнутся друг с другом и образуют новую черную дыру, посылающую гравитационные волны по всей Вселенной. Или на самом деле вы можете предсказать, как расширяется сама Вселенная. Все это происходит от решения этой маленькой части уравнения.

Следующий член уравнения был записан Джеймсом Клерком Максвеллом, и он говорит вам все об **электромагнетизме**.

Таким образом, все эксперименты, которые Фарадей провел в этом здании всю свою жизнь, фактически все эксперименты на протяжении многих столетий, от Кулона до Фарадея, от Герца до современных разработок лазеров, все входят в эту маленькую часть уравнения.

Итак, в следующих уравнениях есть некоторая сила.

Это уравнение описывает **сильное ядерное взаимодействие, слабое ядерное взаимодействие**.

Это уравнение впервые было записано британским физиком Полом Дираком. Оно описывает **материю**. Он описывает те **12 частиц, которые составляют материю**. Удивительно, но каждый из них подчиняется одному и тому же уравнению.

У нас есть уравнения Питера Хиггса. И это уравнение, которое говорит вам **, как материя взаимодействует с частицей Хиггса**.

Так что все здесь, в этом уравнении. Это действительно поразительное достижение, но это также и наш нынешний предел знаний. Мы никогда не проводили эксперимент который не может быть объяснен этим уравнением. И мы так и не нашли способа, при котором это уравнение перестало бы работать.

Так что это лучшее, что у нас есть на данный момент. Это лучшее, что у

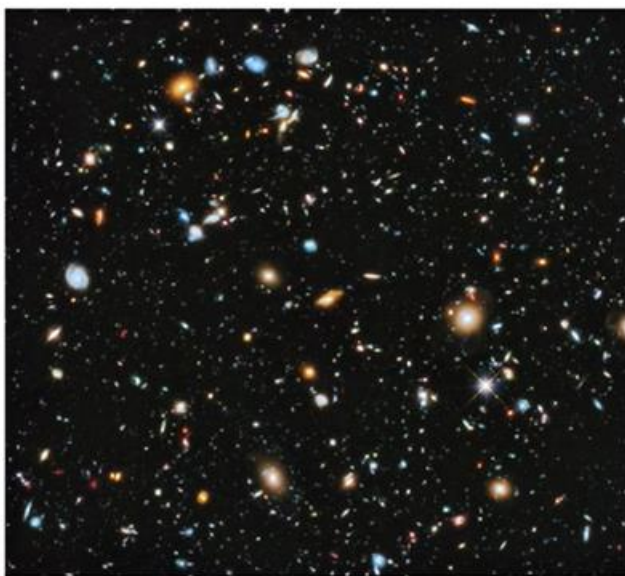
нас есть на данный момент.

ТЕМНАЯ МАТЕРИЯ и ТЕМНАЯ ЭНЕРГИЯ.

Тем не менее, мы хотим сделать лучше, потому что мы точно знаем, что есть вещи, которые этим не объясняются. И причина, по которой мы это знаем, заключается в том, что, хотя это объясняет каждый эксперимент, который мы когда-либо проводили здесь, на Земле, если мы посмотрим в небо, там есть дополнительные вещи, которые до сих пор остаются загадкой. Итак, если мы посмотрим в космос, там есть, например, невидимые частицы.

На самом деле, есть **больше невидимых** частиц, чем **видимых** частиц. Мы называем их **темной материей** .

There's stuff we're missing



Dark matter? Dark energy? Inflation?

Очевидно, мы не можем их видеть, потому что они невидимы. Но мы можем видеть их последствия. Мы можем видеть их эффекты в том, как вращаются галактики, или в том, как они преломляют « свет » вокруг галактик. Они там.

Мы не знаем, что они собой представляют но есть еще более загадочные вещи. Есть что-то, называемое **темной энергией** , которая **распространяется по всему космосу**. Это также **какое-то поле** , хотя мы и не понимаем, но оно заставляет все во вселенной отталкивать все остальное. Мы знаем, что в первые несколько секунд, еще раньше, в первые доли секунды после Большого взрыва, **Вселенная прошла очень быструю фазу расширения, которую мы называем инфляцией** .

Мы знаем, что это произошло, но это не объясняется тем уравнением, которое я только что показал вам. Так что это то, что нам нужно понять, если мы собираемся двигаться вперед и решить, какие следующие законы физики выйдут за рамки стандартной модели. Я могу часами говорить о любом из них. Я собираюсь сосредоточиться только на последнем.

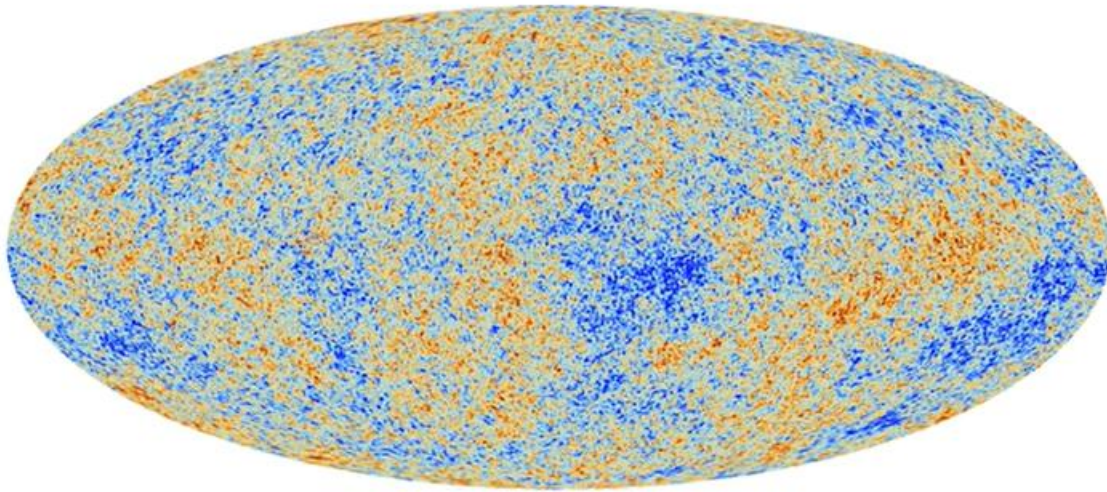
Инфляция .

Я собираюсь рассказать вам немного об «инфляции».

Итак, Вселенной 8 миллиардов лет. И мы довольно хорошо это понимаем — но, мы совсем не понимаем, как это началось. Мы не понимаем, с чего все это началось в момент времени - t , равном - 0. Но мы довольно хорошо понимаем, что произошло после того, как это началось. И мы знаем, в частности, что первые 380 000 лет существования Вселенной она была заполнена огненным шаром. И мы знаем это наверняка, потому что видели огненный шар. На самом деле, мы его видели и сфотографировали.

Это называется космическим микроволновым фоновым излучением, но гораздо лучше его назвать «огненный **шар, который заполнил Вселенную**, когда она была намного моложе».

The Fireball of the Big Bang

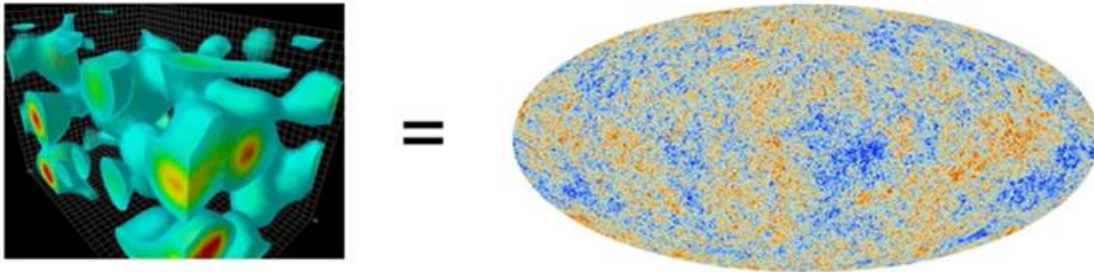


Огненный шар остывает. Его свет течет через вселенную уже 13,8 миллиардов лет. Но мы это видим.

Мы можем сфотографировать его. И мы можем очень хорошо понять, что происходило в эти первые несколько мгновений Вселенной. И вы можете видеть, это выглядит буквально как огненный шар. Есть красные кусочки, которые более горячие. Есть синие части, которые холоднее. И, изучая это мерцание, которое вы видите на этой картинке, мы получаем много информации о том, что происходило 13,8 миллиарда лет назад, когда Вселенная была младенцем. Один из главных вопросов, который мы хотим задать - Что вызвало мерцание в огненном шаре?

И у нас есть на это ответ. У нас есть ответ, который, я думаю, является одним из самых удивительных вещей во всей науке. Оказывается, хотя огненный шар просуществовал 380 000 лет, что бы ни вызвало это мерцание, оно не могло происходить в течение большей части этого времени. Что бы ни вызвало **мерцание** этого огненного шара, оно на самом деле **произошло в первые доли секунды после Большого Взрыва** .

What quantum field are we seeing here?



А дело в следующем. Итак, когда Вселенная была очень, очень молода, вскоре после Большого взрыва, частиц не было, но были:

- **квантовые поля** , потому что квантовые поля были **повсюду** . И были эти
- **квантовые флуктуации вакуума** . А произошло то, что Вселенная очень, очень быстро расширилась и поймала эти квантовые флуктуации на лету. Так квантовые флуктуации растянулись по всему небу, где и застыли. И именно эти флуктуации вакуума являются рябью, которую вы видите в огненном шаре.

Так что это удивительная история, что **флуктуации квантового вакуума** происходили **через 10-30 секунд после Большого Взрыва** . Они были абсолютно микроскопическими. И теперь мы видим их растянутыми по всей вселенной, растянувшись на 20 миллиардов световых лет по небу. Это то, что вы видите здесь. И тем не менее, вы делаете расчеты для этого, и это идеально соответствует тому, что вы видите здесь. Итак, это еще один великий триумф квантовой теории поля.

Но оставляет массу вопросов. Самый важный вопрос: какое поле мы здесь видим? Какое это поле отпечаталось на фоновом излучении? И ответ - мы не знаем. Единственное поле стандартной модели, на которое мы

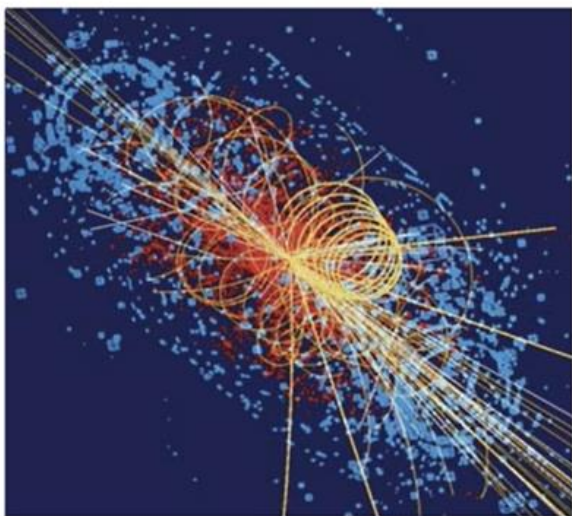
надеемся — это бозон Хиггса. Но большинство из нас думает, что это не бозон Хиггса, а что-то новое.

Но что мы хотели бы сделать в будущем, так это получить гораздо лучшую картину этого огненного шара, в частности получить поляризацию света. И получив картину этого, мы сможем лучше понять свойства этого поля, которое колебалось в ранней Вселенной.

Это стремление вперед — одна из самых больших надежд, которые мы возлагаем на то, чтобы выйти за рамки стандартной модели и понять новую физику.

Однако в последние 10 минут я хотел бы так сказать вернуть вас обратно на Землю,.

Meanwhile, back on Earth



У нас здесь, на Земле, проводится множество экспериментов, в которых мы также пытаемся добиться большего успеха, где мы также пытаемся выйти за рамки стандартной модели физики за пределы этого уравнения, чтобы понять, что нового.

И их много, но самая выдающаяся та, о которой я уже упоминал. Это БАК. Итак, в 2012 году БАК открыл **бозон Хиггса**. Вскоре после этого он закрылся на два года. У него было обновление. А в прошлом, 2015 году,

БАК снова включился с вдвое большей энергией, чем при обнаружении бозона Хиггса.

И цель была двойкой. Цель состояла в том, чтобы, во-первых, лучше понять бозон Хиггса, что ей удалось фантастически, а во-вторых, открыть новую физику, лежащую за пределами бозона Хиггса, новую физику за пределами *стандартной модели*. Поэтому, прежде чем я расскажу вам, что он видел, позвольте мне рассказать вам о некоторых идеях, которые у нас были, о наших ожиданиях и надеждах на то, что произойдет в будущем.

Итак, вот снова наше любимое уравнение.

The theory of everything (so far)

$$Z = \int \mathcal{D}(\text{Fields}) \exp \left(i \int d^4x \sqrt{-g} (R - F_{\mu\nu} F^{\mu\nu} - G_{\mu\nu} G^{\mu\nu} - W_{\mu\nu} W^{\mu\nu} + \sum_i \bar{\psi}_i \not{D} \psi_i + \mathcal{D}_\mu H^\dagger \mathcal{D}^\mu H - V(H) - \lambda_{ij} \bar{\psi}_i H \psi_j) \right)$$

Идея всегда была следующей. Знаете, если бы вы были ученым викторианской эпохи, и вы вернетесь назад, и посмотрите на периодическую таблицу элементов, то там действительно есть узоры, которые намекают на структуру, лежащую под ними. Те числа, которые повторяются.

Где, если вы очень умны, вы можете начать понимать, что да, есть нечто более глубокое, чем просто эти элементы. Поэтому наша надежда, как теоретиков, состоит в том, чтобы взглянуть на это уравнение и посмотреть, сможем ли мы просто найти закономерности в этом уравнении, которые предполагают, что за ним может скрываться что-то более глубокое.

И они там. Итак, позвольте мне привести вам пример.

- Это уравнение описывает силу электричества и магнетизма.

- И это почти то же самое, что уравнения, описывающие силы для сильного взаимодействия и слабого ядерного взаимодействия. Как вы видите. Я только что поменял буквы.

Это немного сложнее, чем это, но это не намного сложнее, чем это.

Три силы действительно выглядят одинаково.

Так что вы можете задаться вопросом? Может быть, во Вселенной нет трех сил.

Может быть, эти три силы на самом деле всего лишь одна сила?

И когда мы думаем, что есть три силы, это потому, что мы смотрим на эту одну силу только с немного разных точек зрения? Может быть?

Вот еще что удивительно. Это уравнения для 12 полей материи во Вселенной — нейтринов, электронов и кварков. Каждый из них подчиняется точно такому же уравнению.

Каждое из них подчиняется уравнению Дирака.

Итак, вы снова можете задаться вопросом? Может быть, нет 12 разных полей?

Может быть, это одно и то же поле и одна и та же частица, а тот факт, что они выглядят по-разному, опять же, может быть просто потому, что мы смотрим на них с немного разных точек зрения? Может быть?

Ideas of unification

$$Z = \int \mathcal{D}(\text{Fields}) \exp \left(i \int d^4x \sqrt{-g} (R - F_{\mu\nu} F^{\mu\nu} - G_{\mu\nu} G^{\mu\nu} - W_{\mu\nu} W^{\mu\nu} + \sum_i \bar{\psi}_i \not{D} \psi_i + \mathcal{D}_\mu H^\dagger \mathcal{D}^\mu H - V(H) - \lambda_{ij} \bar{\psi}_i H \psi_j) \right)$$

Итак, эти идеи которые я предлагаю, называются **объединением** .

Идея о том, что **три силы фактически объединены в одну**, называется

великим объединением .

И это очень легко. Очень легко написать математическую теорию, в которой все они представляют собой лишь одну силу, а с нашей точки зрения их три. Здесь есть и другие возможности. Вы можете сказать, хорошо....

- в этом и дело
- это силы.

И уравнения разные, но не такие уж и разные. Потому что, в конечном счете, они **оба просто поля** .

Таким образом, вы можете задаться вопросом, может быть, **каким образом материя и силы связаны друг с другом??**

У нас есть теория и на этот счет.

Это **теория** , которая называется **суперсимметрией** .

И это красивая теория. Это очень глубоко концептуально. И это как бы, знаешь, пахнет так, как будто это правильно.

Наконец, вы можете быть очень, очень смелым. Вы можете сказать, ну, **Могу ли я просто объединить их** ? Могу ли я просто избавиться от всех этих терминов и просто записать один-единственный термин, из которого вытекают все остальные? Гравитация, силы, частицы, Хиггс, все. У меня есть кое-что для тебя, если ты тоже этого хочешь.

Это называется **Струнная теория**.

Таким образом, у нас есть возможность для теории, которая содержит все это в одном простом понятии. И вопрос будет в том, правильно ли это? Вы знаете, нам теоретикам, очень легко приходят в голову такие идеи. И я должен сказать, что эти идеи движут теоретической физикой в течение 30 лет, но мы хотим знать, верны ли они? И у нас есть способ сказать, что они верны. Делаем эксперименты.

Так что я должен сказать, что если вы хотите знать, верна ли **теория струн**

у нас нет никакого способа проверить ее в данный момент.

Но если вы хотите знать, верны ли некоторые из этих других идей, то это то, что должен делать БАК. Причина, по которой мы построили БАК, была

- во-первых , **чтобы найти бозон Хиггса** . Хорошо, это сработало.
- Во-вторых, чтобы проверить такие идеи, которые у нас были, чтобы увидеть, что лежит за их пределами.

Итак, БАК работает. Работает уже два года.

Это работает как абсолютный сон. Это идеальная машина. Два года. Вот что он увидел: *Абсолютно ничего* . Все эти фантастические красивые идеи, которые у нас были, ни одна из них не появляется вообще.

И вопрос в будущем: что мы собираемся с этим делать? Как мы собираемся добиться прогресса в понимании следующего уровня физики, когда БАК ничего не видит, а наши идеи просто не соответствуют тому, как работает природа?

Должен вам сказать, что часто у меня нет хорошего ответа на этот вопрос. У меня сложилось впечатление, что большая часть моего сообщества немного потрясена случившимся. Конечно, в сообществе нет консенсуса, чтобы двигаться вперед. Но я думаю, что у разных людей есть три ответа, которыми я хотел бы поделиться с вами. И я думаю, что все три из этих ответов разумны до определенного момента.

Первый ответ на то, что БАК ничего не видит, следующий. Вы, молодые и вы так пессимистичны. Вам нужно немного больше терпения. Знаешь, БАК ничего не видел в прошлом году, и ничего не видел в этом году.

Но в следующем году он что-то увидит. И если не в следующем году, то через год он что-то увидит. Обычно это бывает у моих очень прославленных старших коллег... и знаете что? Они запросто могут быть правы. Вполне может быть, что в следующем году БАК обнаружит что-то удивительное, и это направит нас на *путь понимания следующего слоя реальности*.

Но также верно и то, что те же самые люди предсказывали, что к настоящему времени он что-то увидит.

И также верно, что это не может продолжаться долго. Если БАК ничего не увидит, скажем, в течение двух лет, то очень маловероятно, что он увидит что-то в будущем. Возможно. Это только кажется маловероятным. Поэтому я всем сердцем надеюсь, что БАК обнаружит что-то в следующем году или через год. Но я думаю, что мы должны готовиться к худшему, что, возможно, этого не произойдет.

Ответ номер два. Ответ номер два, вроде тоже от подобных людей, ну все наши теории такие красивые. Они абсолютно должны быть правильными, и нам действительно нужна машина большего размера. В 10 раз больше БАК. Опять же, они могут быть правы. У меня нет веских аргументов против. Однако очевидным опровержением является то, что новая машина стоит 10 миллиардов долларов. В мире не так много правительств, у которых есть 10 миллиардов долларов, чтобы мы могли изучить эти идеи. Есть одно. Одно - Китай. И поэтому, если эта машина вообще будет построена, она будет построена китайским правительством. Я думаю, что китайское правительство сочло бы чрезвычайно привлекательным, если бы все сообщество *физиков и инженеров элементарных частиц*, которые в настоящее время базируются в ЦЕРН и Женеве, переехали в город, который немного севернее Пекина. Я думаю, они воспримут это как политическую и экономическую выгоду, и есть реальный шанс, что они решат построить эту машину. Если да, то на его строительство уйдет около 20 лет. Так что ждем немного дольше.

Есть третий ответ. И я должен сказать, что третий ответ относится к лагерю, в котором я нахожусь. Я должен заранее упомянуть, что он спекулятивный и, вероятно, не одобряется большинством моих коллег. Так что это на самом деле только мое личное мнение на данный момент.

Это мой взгляд на это.

Or...

$$Z = \int \mathcal{D}(\text{Fields}) \exp \left(i \int d^4x \sqrt{-g} (R - F_{\mu\nu} F^{\mu\nu} - G_{\mu\nu} G^{\mu\nu} - W_{\mu\nu} W^{\mu\nu} + \sum_i \bar{\psi}_i \not{D} \psi_i + \mathcal{D}_\mu H^\dagger \mathcal{D}^\mu H - V(H) - \lambda_{ij} \bar{\psi}_i H \psi_j) \right)$$

maybe there are further hints in this equation that we've missed?

Это уравнение, которое, как мы знаем, верно.

Это своего рода основа нашего понимания.

Но хотя мы знаем, что это правильно, *в этом уравнении очень много того, чего мы не поняли.*

Для меня в этом уравнении очень много загадочного.

Итак, хотя это уравнение выглядело так, как будто были предложения по объединению, может быть, это просто отвлекающий маневр.

И, может быть, если мы будем усерднее работать над тем, чтобы лучше понять это уравнение, мы обнаружим, что появляются другие закономерности.

Итак, мой ответ: я думаю, что, возможно, нам следует просто вернуться к чертежной доске и начать подвергать сомнению некоторые предположения и парадигмы, которых мы придерживались последние 30 лет.

Так что на самом деле я чувствую себя довольно энергичным из-за отсутствия результатов .

Ты знаешь? Мне как-то приятно, что все были неправы.

Знаешь, когда мы ошибаемся, мы начинаем прогрессировать.

Так что я чувствую себя вполне довольным этим и думаю, что есть очень реальный шанс, что мы могли бы просто начать думать о разных идеях.

Я должен сказать, что здесь есть подсказки.

Есть намеки на математические закономерности, которые мы не исследовали.

В этом есть намеки на связи с другими областями науки.

Такие вещи как

- *физика конденсированного состояния* , наука о том, как работают материалы, или
- *квантовая информатика* , которая является попыткой построить квантовый компьютер.

У всех этих фантастических предметов есть новые идеи, которые как бы подпитывают вопросы, которые мы здесь задаем.

Так что я весьма оптимистичен в том что, двигаясь вперед мы сможем добиться прогресса, может быть не того прогресса о котором мы думали несколько лет назад, а просто чего-то нового. Такова кульминация моего выступления.

Суть в том, что это единственное величайшее уравнение, которое мы когда-либо записывали.

Но я надеюсь, что когда-нибудь мы сможем дать вам что-то лучше.

Спасибо за внимание.

ГРУППА МЕЗЗА ВЕРДЕ.

<http://www.mezzaverde.com>