

Минимально необходимая локально-нелокальная модель эволюции элементарных частиц и фундаментальных взаимодействий ранней Вселенной

Васильев Сергей Викторович

vasssergio@gmail.com

1. Введение

Стандартная модель физики элементарных частиц, являясь наиболее полной в этой области и многократно подтверждённой экспериментально теорией, имеет ряд нерешённых проблем, которые прямо или косвенно указывают на то, что её нельзя считать окончательной [1,2]. Существующие сегодня теории, претендующие на роль расширений стандартной модели, способных найти решение той или иной части этих проблем (наиболее популярными из которых являются группы теорий симметрии и суперсимметрии), а также принципиально новые теории, ставящие перед собой аналогичные цели (такие как теория струн), длительное время не находят экспериментальных подтверждений. В ходе продолжающихся в этой области экспериментов также до сих пор не обнаружено никаких новых наблюдательных данных, способных указать на то, какой должна быть "физика за пределами стандартной модели", и на основе которых можно было бы сформулировать новые теории или модифицировать уже существующие.

Такая ситуация в физике элементарных частиц без каких бы то ни было серьёзных изменений сохраняется на протяжении достаточно длительного периода времени. Очевидно, существуют три возможных пути выхода из неё. Первый — формулирование новых, более сложных, модификаций уже существующих, но не подтверждённых или исключённых экспериментами, теорий. Второй — продолжение экспериментов, предназначенных обнаружить новые наблюдательные данные, главным инструментом которых сегодня является протон-протонный коллайдер LHC лаборатории ЦЕРН. Третий — формулирование принципиально новых теорий, целиком основанных на уже известных данных.

В данной статье предложена гипотеза, представляющая третий путь.

Современная теоретическая модель физики элементарных частиц, в основе которой лежат понятия локальной квантовой теории поля, также является полностью локальной. Исследования последних десятилетий в смежной области знаний — квантовой физике, ряд положений которой использует квантовая теория поля, — указывают на то, что квантовая теория, непротиворечиво и полно описывающая результаты экспериментов, должна быть нелокальной [3-23]. (Единственную альтернативу

нелокальным теориям — многомировые квантовые теории — нет возможности обсуждать в рамках научного дискурса, поскольку в них нет утверждений, которые могут быть доказаны или опровергнуты научным методом. По этой причине они здесь не берутся во внимание как не имеющие научных перспектив.)

Поскольку появились основания предполагать, что локальная квантовая теория поля является неполной аппроксимацией более полной нелокальной теории элементарных частиц, в рамках существующих и не исключённых в ходе экспериментальных проверок нелокальных интерпретаций квантовой механики целесообразно предлагать и разрабатывать нелокальные дополнения локальных теорий физики элементарных частиц. Главные вопросы, на которые предстоит ответить любому такому дополнению, следующие: "какое место в описываемых в нём процессах занимают нелокальные явления?", "каким образом осуществляется их связь с локальными явлениями?" и "какова роль первых и вторых в формировании наблюдаемой сегодня системы элементарных частиц и фундаментальных взаимодействий Вселенной?".

В данной статье предлагается гипотеза, являющаяся нелокальным дополнением теории элементарных частиц, способным ответить на эти вопросы.

Предлагаемая гипотеза является результатом разработки нелокальной интерпретации квантовой механики Ли Смолина (Lee Smolin) [24,25]. Путём экстраполяции в прошлое на ранние этапы эволюции Вселенной предложенного в интерпретации Смолина механизма формирования вероятностей в вероятностных квантовых процессах (в том числе применительно к закономерностям процессов осцилляций нейтрино [26-28] и смешивания кварков [29-31]) в предлагаемой гипотезе получено описание механизма возможной эволюции частиц и взаимодействий ранней Вселенной, в котором локальные и нелокальные процессы дополняют друг друга и конечным результатом действия которого является порядок, описываемый стандартной моделью, и некоторые явления и состояния, выходящие за рамки стандартной модели, такие как: осцилляции нейтрино и смешивание кварков, барионная асимметрия, происхождение частиц тёмной материи, происхождение значений некоторых свободных параметров стандартной модели, в т.ч. значений фермионных масс.

2. Основные положения интерпретации квантовой механики Ли Смолина

Интерпретация квантовой механики Ли Смолина, относится к группе вероятностно-детерминированных нелокально-реалистических квантовых теорий. Эта группа — одна из трёх (наряду с нелокально-не-реалистическими и многомировыми), оставшихся не исключёнными из списка квантовых теорий, соответствующих

экспериментальным данным, в результате: экспериментальной проверки теоремы Белла (исключившей локально-реалистические теории) [3-8]; экспериментов, подтвердивших нелокальный характер явления квантовой запутанности в пределах одной Вселенной (исключивших все существующие одномировые локальные теории) [9-21]; и экспериментальной проверки теоремы Легетта (исключившей строго детерминированные нелокально-реалистические теории) [22,23].

Отправной точкой интерпретации Смолина является утверждение о том, что для любой квантовой системы (элементарной частицы, атома, молекулы и т.п.) во Вселенной существует множество аналогичных ей квантовых систем, с которыми данная система является неразличимой. Множество неразличимых квантовых систем Вселенной, пребывающих под воздействием неразличимых внешних сил, Смолин называет "реальным ансамблем" (a real ensemble). Смолин предполагает, что все квантовые системы Вселенной, входящие в один реальный ансамбль, находятся между собой в состоянии многочастичной квантовой запутанности, посредством которой реализуется следующий закон: вероятность приобретения данной квантовой системой в результате исхода вероятностного квантового события наблюдаемого состояния a в данный момент времени равна частоте встречаемости состояния a среди всех квантовых систем этого реального ансамбля в данный момент времени. Этот закон выражается следующей формулой:

$$P_a = n_a / N \quad (1)$$

где: P_a – вероятность приобретения квантовой системой данного реального ансамбля состояния a в данный момент времени; n_a – общее количество квантовых систем данного реального ансамбля, находящихся в состоянии a в данный момент времени; N – общее количество квантовых систем данного реального ансамбля во Вселенной в данный момент времени [24]. (Существование абсолютного квантового времени, на основе которого возможны одновременные квантовые события, в настоящее время рассматривается рядом исследователей как необходимое условие для объяснения результатов некоторых экспериментов [20,21,32-34].)

Результат исхода данного вероятностного квантового события (выраженный в приобретении квантовой системой наблюдаемого состояния a) появляется в результате нелокального копирования данной квантовой системой состояния a другой квантовой системы данного реального ансамбля, находящейся где угодно во Вселенной, с вероятностью, определяемой законом (1). Значения вероятностей квантовых событий в рамках одного реального ансамбля, согласно интерпретации Смолина, таким образом,

определяются суммой состояний всех индивидуальных систем данного реального ансамбля в данный момент времени и формируются в результате нелокального процесса космологического масштаба.

3. Необходимые поправки и уточнения к интерпретации квантовой механики Ли Смолина

Термин "реальный ансамбль" я считаю не совсем удачным, в дальнейшем описании заменяю его термином "нелокальный ансамбль" и даю ему следующее определение, в некоторых деталях отличающееся от определения Смолина: нелокальный ансамбль — это множество всех квантовых систем Вселенной, находящихся под воздействием неразличимых сил, включая как внешние силы, так и силы взаимодействия частей системы друг с другом, создающие структуру системы (включая спиновое число). В отношении истинно элементарных частиц, не имеющих внутренней структуры, единственными критериями, таким образом, остаются спиновое число и нахождение частиц под воздействием неразличимых внешних сил.

Неразличимость самих квантовых систем я не считаю критерием принадлежности к нелокальному ансамблю — к одному ансамблю могут принадлежать квантовые системы, не являющиеся неразличимыми, как это будет видно на примере нелокального ансамбля нейтрино.

Все квантовые системы, входящие в один реальный ансамбль, находятся между собой в состоянии многочастичной квантовой запутанности, посредством которой реализуется сформулированный в интерпретации Смолина закон формирования вероятностей в вероятностных квантовых процессах (1).

Существующей в данный момент времени квантовой системой, состояния и свойства которой могут быть объектом нелокального копирования, я называю квантовую систему, которая на момент описываемого события является реально (а не виртуально) существующей, то есть существующей в течение промежутка времени, большего чем \hbar/mc^2 .

4. Применение доработанной интерпретации квантовой механики Ли Смолина к описанию процесса осцилляций нейтрино

Рассмотрим, как интерпретацию Смолина с указанными в предыдущем разделе поправками можно применить к описанию наблюдаемого на данном этапе эволюции Вселенной процесса осцилляций нейтрино.

Являясь истинно элементарными частицами одинакового спинового числа и находясь под действием неразличимых внешних сил (участие в слабом и гравитационном взаимодействии, неучастие в сильном и электромагнитном взаимодействии) нейтрино всех трёх сортов (ν_e, ν_μ, ν_τ) составляют один нелокальный ансамбль.

В ходе элементарного акта осцилляции данное нейтрино нелокально копирует значение массы любого другого нейтрино Вселенной. Вероятность копирования данным нейтрино определённого значения массы в акте осцилляции в данный момент времени выражается общей формулой:

$$P_m = n_m / N \quad (2)$$

где: P_m – вероятность копирования нейтрино в результате осцилляции значения m массы в данный момент времени; n_m – общее количество нейтрино с массой m во Вселенной в данный момент времени; N – общее количество нейтрино во Вселенной в данный момент времени.

К примеру, вероятность копирования нейтрино значения массы электронного нейтрино (ν_e) в результате осцилляции в данный момент времени выражается формулой:

$$P_e = n_e / N \quad (3)$$

где: P_e – вероятность копирования нейтрино в результате осцилляции значения массы электронного нейтрино в данный момент времени; n_e – общее количество электронных нейтрино во Вселенной в данный момент времени; N – общее количество нейтрино во Вселенной в данный момент времени.

Аналогично определяются вероятности копирования в результате осцилляции значений масс двух других сортов нейтрино.

В процессе осцилляции, протекающем по описанной вероятностной закономерности (2), частоты встречаемости значений осциллирующего свойства (массы нейтрино) после каждого единичного акта осцилляции будут меняться на величину $1/N$. К примеру, когда ν_e осциллирует в ν_μ , на одно электронное нейтрино во Вселенной становится меньше, а на одно мюонное нейтрино больше. Соответственно, величина n_e / N становится меньше на $1/N$, а n_μ / N – больше на $1/N$. Поскольку осцилляции происходят стохастически, а величина $1/N$ – очень мала, процесс

осцилляций, протекающий по закономерности (2), со временем не приводит к значимым изменениям частот встречаемости (n_m / N) различных значений осциллирующего свойства (массы нейтрино).

Это будет не так в других случаях, рассмотренных ниже.

4. Следствия доработанной интерпретации квантовой механики Ли Смолина

Применительно к явлениям, изучаемым физикой элементарных частиц, интерпретация квантовой механики Ли Смолина имеет два существенных следствия, делающих возможным её использование в моделировании процесса эволюции частиц и взаимодействий ранней Вселенной. Оба этих следствия касаются закономерностей появления во Вселенной самых первых частиц (фермионов или переносчиков взаимодействия) данного вида (данного нелокального ансамбля) и следующих непосредственно за этим событий.

4.1. Значения свойств последовательно рождающихся частиц

Согласно интерпретации Смолина, любая частица, вновь рождающаяся в процессах взаимных превращений частиц, приобретает свои свойства в результате нелокального вероятностного копирования значений аналогичных свойств уже существующих частиц этого же нелокального ансамбля с вероятностью, определяемой законом (1), за исключением случаев, когда значения свойств вновь рождённой частицы строго (а не вероятностно) детерминированы закономерностями реакции, в результате которой частица появилась.

Согласно этому, каким бы образом ни возникло значение a некоторого свойства первой появившейся во Вселенной частицы данного нелокального ансамбля — истинно случайно, в результате реализации некоторого фундаментального закона или при одновременном действии этих двух факторов (что предполагается в данной гипотезе) — вторая появившаяся частица данного нелокального ансамбля с вероятностью $P_a = 1$ скопирует значение a этого свойства первой частицы, так как на момент этого события $n_a = 1$ и $N = 1$ (1). Каждая рождающаяся впоследствии частица данного нелокального ансамбля будет копировать значение этого свойства любой уже существующей частицы данного нелокального ансамбля, которые также будут неразличимы со значением a этого свойства первой появившейся частицы данного нелокального ансамбля. Таким образом будет формироваться множество неразличимых частиц (фермионов или переносчиков взаимодействия) одного нелокального ансамбля. В

предлагаемой модели это является нелокальной составляющей механизма появления большей части фермионов и всех фундаментальных взаимодействий Вселенной.

Необходимым условием для протекания процесса согласно описанной закономерности является разница во времени между появлением первой частицы данного нелокального ансамбля и появлением всех последующих частиц, большая чем \hbar/mc^2 .

4.2. Квантовый естественный отбор

Второе следствие интерпретации квантовой механики Ли Смолина касается случая одновременного (в пределах промежутка времени, меньшего чем \hbar/mc^2) появления во Вселенной некоторого начального количества частиц данного нелокального ансамбля. В этом случае возможность нелокального копирования значений свойств одной, появившейся первой, частицы всеми появляющимися впоследствии оказывается исключена. Благодаря этому стохастически появляется некоторое начальное разнообразие значений свойств частиц одного нелокального ансамбля.

В предлагаемой модели предполагается, что в случае, когда существует некоторое разнообразие возможных значений какого-то свойства частиц одного нелокального ансамбля, эти значения осциллируют аналогично тому, как осциллируют массы нейтрино.

В общем случае закон, по которому определяются вероятности в любом процессе осцилляции некоторого свойства с несколькими возможными значениями, можно выразить следующим образом:

$$P_a = n_a / N \quad (4)$$

где: P_a – вероятность приобретения частицей данного нелокального ансамбля в результате осцилляции значения a осциллирующего свойства в данный момент времени; n_a – общее количество частиц данного нелокального ансамбля со значением a осциллирующего свойства во Вселенной в данный момент времени; N – общее количество частиц данного нелокального ансамбля во Вселенной в данный момент времени.

Процесс осцилляций, протекающий по данной закономерности (4), не будет приводить к значимым изменениям со временем частот встречаемости (n_a / N) различных значений осциллирующего свойства (аналогично тому, как это происходит

при осцилляциях нейтрино) только в том случае, когда, не зависимо от того, какое значение осциллирующего свойства приобретает частица, её принадлежность к исходному нелокальному ансамблю не меняется.

Рассмотрим некий абстрактный случай нелокального ансамбля A_1 в котором согласно закону (4) происходят осцилляции свойства a , входящих в него частиц. При этом свойство a имеет ряд возможных значений: $a_1, a_2, a_3, a_4 \dots a_{11}$. В какой-то момент эволюции Вселенной в ней появляется некоторое новое фундаментальное взаимодействие, частицы-переносчики которого могут взаимодействовать с частицами ансамбля A_1 со стабильностью взаимодействия, находящейся в прямой зависимости от того, какое значение свойства a имеет частица в данный момент времени. Допустим, что при значении a_1 , частица устойчиво со 100% вероятностью не вступает в данное взаимодействие; при значении a_2 вступает в него с 10% вероятностью и разрывает его с 90% вероятностью; при значении a_3 вступает в него с 20% вероятностью и разрывает его с 80% вероятностью; при значении a_4 вступает в него с 30% вероятностью и разрывает его с 70% вероятностью... при значении a_{10} вступает в него с 90% вероятностью и разрывает его с 10% вероятностью; при значении a_{11} частица устойчиво со 100% вероятностью вступает в данное взаимодействие.

По определению нелокального ансамбля в тот момент, когда частица ансамбля A_1 вступает в новое взаимодействие, она перестаёт принадлежать этому ансамблю (так как меняется характер действия на неё внешних сил) и переходит в новый нелокальный ансамбль (назовём его A_2), образовавшийся в момент первого во Вселенной акта вступления частицы ансамбля A_1 в новое взаимодействие. Разрывая впоследствии данное взаимодействие, частица из ансамбля A_2 возвращается в ансамбль A_1 . Таким образом, мы имеем два нелокальных ансамбля A_1 и A_2 , способные обмениваться частицами с вероятностью, напрямую зависящей от того, насколько стабильно частица вступает в данное взаимодействие, что, в свою очередь, зависит от того, каким значением осциллирующего свойства в данный момент времени она обладает.

При таких исходных условиях три процесса, наложенные друг на друга, — два процесса осцилляции свойства a , происходящие по указанному вероятностному закону (4) в двух нелокальных ансамблях A_1 и A_2 отдельно, и обмен ансамблями частицами, происходящий в прямой зависимости от полученных ими в результате осцилляции значений свойства a , — самопроизвольно приводят со временем в каждом ансамбле к уменьшению (стремлению к нулю) частоты встречаемости (n_a / N) значений свойства a , при которых частицы способны переходить из одного ансамбля в другой ($a_2 \dots a_{10}$), и увеличению (стремлению к единице) частоты встречаемости (n_a / N) значения свойства

a , при которых частицы максимально стабильно принадлежат одному нелокальному ансамблю (a_I — для ансамбля A_I и a_{II} — для ансамбля A_2). Это происходит в связи с тем, что каждый акт перехода частицы из одного нелокального ансамбля в другой уменьшает частоту встречаемости (n_a / N) значения свойства a , которым на момент перехода обладает переходящая частица, на величину, равную $1/N-1$, в ансамбле, из которого выходит; и увеличивает частоту встречаемости (n_a / N) значения свойства a , которым на момент перехода обладает переходящая частица, на величину, равную $1/N+1$, в ансамбле, в который переходит; тем самым меняя (уменьшая в первом ансамбле и увеличивая во втором) на ту же величину и вероятности (P_a) процессов осцилляции для данного значения свойства a в обоих ансамблях. Многократное повторение актов перехода квантовых систем из одного ансамбля в другой с изменением вероятностей (P_a) процессов осцилляций, которые определяют, какие значения свойства a при осцилляции в дальнейшем получают частицы в данном ансамбле, и как следствие, определяют вероятность дальнейшего перехода частицы из одного ансамбля в другой, и приводит к указанному выше результату.

Этот естественный механизм, в результате которого из начального стохастического многообразия возможных значений осциллирующего свойства a отбираются и сохраняются только те значения, которые обуславливают либо наибольшую стабильность вновь образующихся комплексов "частица-переносчик внешней силы", либо полную неспособность их образовывать, я назвал квантовым естественным отбором. Этот механизм является основной составляющей начального этапа предлагаемой далее модели эволюции элементарных частиц и фундаментальных взаимодействий ранней Вселенной, в ходе которого образовались частицы тёмной материи и первые кварки.

5. Минимально необходимая локально-нелокальная модель эволюции элементарных частиц и фундаментальных взаимодействий ранней Вселенной

Предлагаемая модель описывает процесс эволюции элементарных частиц и фундаментальных взаимодействий Вселенной, в котором наблюдаемый сегодня порядок, описываемый стандартной моделью физики элементарных частиц, развивается в несколько этапов с участием дополняющих друг друга локальных и нелокальных явлений. Каждый новый этап этой эволюции инициируется изменениями условий Вселенной (температуры и плотности вещества), выражается в минимально необходимых с точки зрения энергетической целесообразности преобразованиях и сопровождается появлением новых, не существовавших ранее, сущностей. Природа

каждой такой новой сущности отчасти определяется предшествующим состоянием Вселенной, отчасти — стохастическими квантовыми флуктуациями.

Значения фундаментальных физических констант, связанных со свойствами частиц и взаимодействий, в рамках предлагаемой модели возникают в результате одновременного действия стохастических квантовых флуктуаций и фундаментальных законов классической физики, ограничивающих их возможные значения требованиями энергетической целесообразности.

Поскольку предполагаемый процесс эволюции является отчасти стохастическим, он не ведёт однозначно к единственно возможному результату. Его возможные результаты представляют собой некоторое множество отличающихся друг от друга стандартных моделей, единственным условием формирования которых является стабильность (в условиях, существовавших на момент их возникновения) частиц, в них входящих, и их способность вступать между собой в стабильные взаимодействия.

5.1. Начальные условия

За начальные условия процессов, предполагаемых данной моделью, принимаются следующие: ранняя Вселенная по окончании стадии инфляционного расширения, в которой существует одно фундаментальное взаимодействие — гравитационное и отсутствуют другие фундаментальные взаимодействия и их бозоны-переносчики. Выражаемые количественно параметры физики ранней Вселенной (энергия, плотность вещества, скорость расширения и др.) для описываемых процессов имеют опосредованное значение лишь как факторы, определяющие стабильность частиц и взаимодействий. На форму самих описываемых процессов они не оказывают непосредственного влияния и могут меняться в широком диапазоне.

Вселенная на этом этапе заполнена первичными фермионами — частицами, единственными свойствами которых являются спин, равный $\frac{1}{2}$, и масса. В момент своего появления во Вселенной, для некоторого начального количества первичных фермионов длившийся отрезок времени, меньший чем \hbar/mc^2 , первичные фермионы стохастически в результате квантовых флуктуаций индивидуально (а не в результате некоего фундаментального закона) получили большое количество разнообразных значений массы. Этим моментом предполагается момент разрушения псевдовакуума по окончании стадии инфляционного расширения Вселенной.

Первичные фермионы, находясь под действием единственной внешней силы — гравитационного взаимодействия, составляли один нелокальный ансамбль. Их массы

непрерывно осциллировали с вероятностями, определяемыми законом (4) без значимых изменений со временем частот встречаемости различных значений массы.

Данные начальные условия были нарушены появлением сильного ядерного взаимодействия.

5.2. Механизм появления фундаментальных взаимодействий и появление сильного ядерного взаимодействия

В модели предполагается, что фундаментальные взаимодействия появляются как способ организации избыточной энергии физических систем космологического масштаба, достигших предела стабильности: псевдовакуума ранней Вселенной для сильного ядерного взаимодействия, множества нестабильных t -протокварков для электрослабого взаимодействия, множества нестабильных бозонов электрослабого взаимодействия для слабого ядерного взаимодействия и множества калибровочных бозонов слабого взаимодействия (в виде слабых токов) для электромагнитного взаимодействия. Механизм этой организации имеет двойственную природу: локальную и нелокальную.

С первых моментов своего появления избыточная энергия такой не стабильной физической системы начинает рождать виртуальные частицы. Свойства этих частиц отчасти определяются свойствами физической системы-предшественника (это является локальной составляющей механизма), отчасти являются истинно стохастическими и появляются вследствие квантовых флуктуаций. Первая виртуальная частица, свойства которой в существующих на тот момент во Вселенной условиях, делают энергетически возможным её существование, становится реальной частицей и первым переносчиком нового взаимодействия. Все остальные виртуальные частицы, рождающиеся в тех же условиях, а значит принадлежащие к тому же нелокальному ансамблю, нелокально копируют эти свойства и также становятся реальными частицами (это является нелокальной составляющей механизма). Все рождающиеся впоследствии в тех же условиях частицы нелокально копируют свойства любой частицы этого нелокального ансамбля, которые при соблюдении описанного выше механизма неразличимы со свойствами первой появившейся частицы этого нелокального ансамбля. Таким образом появляется множество неразличимых частиц-переносчиков нового фундаментального взаимодействия.

Сильное ядерное взаимодействие появилось как результат организации избыточной энергии псевдовакуума ранней Вселенной по описанному механизму. В действительности: мы наблюдаем у бозонов сильного ядерного взаимодействия

свойства, делающие их существование в условиях Вселенной того этапа её эволюции, на котором появилось это взаимодействие, наиболее энергетически целесообразным.

5.3. Этап квантового естественного отбора: выделение t-протокварков и частиц тёмной материи из нелокального ансамбля первичных фермионов

Появление сильного ядерного взаимодействия как внешней силы, действующей на первичные фермионы, привело к разделению исходного нелокального ансамбля первичных фермионов на два: фермионы, находящиеся в данный момент времени в сильном взаимодействии, (будущие кварки, протокварки) и фермионы, не находящиеся в данный момент времени в сильном взаимодействии (будущие частицы тёмной материи); с собственными для каждого ансамбля вероятностями осцилляции масс, определяющимися отдельно для каждого ансамбля тем же законом (3). Стабильность комплекса кванта-переносчика сильного ядерного взаимодействия с первичным фермионом в существовавших условиях (а значит и длительность его нахождения в нелокальном ансамбле протокварков) зависела от массы последнего. Вновь вступая в сильное взаимодействие и выходя из сильного взаимодействия, первичные фермионы переходили из одного нелокального ансамбля в другой.

В результате начавшихся в этих условиях процессов квантового естественного отбора (закономерности которых описаны в разделе 4.2) в нелокальном ансамбле протокварков сохранилось только то значение массы, при котором частицы способны вступать в максимально стабильное сильное взаимодействие в существовавших на тот момент условиях Вселенной (значение массы, которым сейчас обладает t-кварк), а в нелокальном ансамбле тёмной материи сохранились либо одно или несколько значений массы, при которых в существовавших на тот момент условиях Вселенной частицы вообще не способны вступать в сильное взаимодействие; либо одно значение массы, при котором стабильность этого взаимодействия является минимальной. Все остальные значения массы исчезли.

Тот факт, что на описываемом этапе эволюции Вселенной её температура была такова, что позволяла протокваркам и квантам сильного взаимодействия находиться в состоянии взаимодействия очень короткий период времени, не вносит в эту схему каких бы то ни было существенных изменений, поскольку описанный механизм отбора основан не на абсолютном времени пребывания протокварков в состоянии сильного взаимодействия, а на относительной разнице этого времени для различных значений их массы.

Таким образом, на выходе этапа квантового естественного отбора образовались t-протокварки — фермионы, из свойств обладающие только спином, равным $\frac{1}{2}$, и массой t-кварка, максимально стабильно вступающие в сильное ядерное взаимодействие; и частицы тёмной материи — фермионы, из свойств также обладающие только спином, равным $\frac{1}{2}$, и массой с неизвестным количеством значений, не вступающие в сильное ядерное взаимодействие либо вступающие в него с минимальной стабильностью.

Поскольку в дальнейшей эволюции частиц и взаимодействий Вселенной, частицы тёмной материи не принимают участия, они не будут дальше упоминаться в тексте при описании вещества Вселенной.

5.4. Появление электрослабого взаимодействия и b-протокварков

Данный этап эволюции Вселенной начался тот момент, когда Вселенная остыла настолько, что t-протокварки стали нестабильны. Избыточная энергия нестабильных t-протокварков стала рождать виртуальные бозоны со случайными свойствами. Необходимым условием существования новых бозонов было максимально эффективное "отведение" избыточной энергии от t-протокварков в условиях высокой плотности наполнения протокварками пространства Вселенной таким образом, чтобы образовавшийся в результате "наследник" t-протокварка стал стабильным и не утратил способности вступать в сильное взаимодействие. Таким и стал бозон электрослабого взаимодействия.

Излучая вновь появившийся бозон электрослабого взаимодействия, t-протокварки превращались в b-протокварки — фермионы, из свойств обладающие только спином, равным $\frac{1}{2}$, и массой b-кварка. Поглощая бозон электрослабого взаимодействия при столкновении (до тех пор, пока температура Вселенной делала это энергетически возможным), b-протокварки превращались в t-протокварки.

b- и t-протокварки принадлежали к одному нелокальному ансамблю (фермионы, состоящие в гравитационном, сильном и электрослабом взаимодействии), но реальная осцилляция одних в другие была невозможна, так как они представляли собой частицы в разных энергетических состояниях (возбуждённом и стабильном). Вероятнее всего, присутствовало лишь виртуальное смешивание значений их массы, аналогичное наблюдаемому сегодня явлению смешивания кварков.

Таким образом, вещество Вселенной на этом этапе представляло собой плазму из глюонов, возбуждённых нестабильных t-протокварков, количество которых с охлаждением Вселенной постепенно уменьшалось, стабильных b-протокварков,

количество которых с охлаждением Вселенной постепенно увеличивалось, и бозонов электрослабого взаимодействия.

5.5. Электрослабый фазовый переход

Следующий этап эволюции Вселенной начался в тот момент, когда Вселенная остыла настолько, что бозоны электрослабого взаимодействия стали нестабильны. Часть последовавших за этим событий теоретически описана как электрослабый фазовый переход.

В рамках предлагаемой гипотезы предполагается, что на момент этого события до b -протокварков и электрослабых бозонов распалась лишь некоторая часть t -протокварков.

Избыточная энергия ставших нестабильными бозонов электрослабого взаимодействия стала рождать виртуальные бозоны со случайными свойствами. Необходимым условием существования новых бозонов было максимально эффективное "отведение" избыточной энергии от электрослабого бозона таким образом, чтобы ставший стабильным "наследник" электрослабого бозона сохранял способность испускаться и поглощаться протокварками при их превращениях, а частица, образующаяся в результате распада нестабильного t -протокварка была стабильной и не утратила способности вступать в сильное взаимодействие. Таким новым бозоном стал безмассовый предшественник Z -бозона.

Испуская безмассовый предшественник Z -бозона, электрослабый бозон превращался в безмассовый нейтральный предшественник W -бозона, способный испускаться t -протокварком. Испуская безмассовый нейтральный предшественник W -бозона, t -протокварк превращался в c -протокварк.

b -, t - и c -протокварки принадлежали к одному нелокальному ансамблю (фермионы, состоящие в гравитационном, сильном и слабом взаимодействии). Реальная осцилляция t -протокварков в b - и c -протокварки была невозможна и, вероятнее всего, присутствовала в виде смешивания. Взаимные осцилляции b - и c -протокварков были возможны, но не сопровождались значимыми изменениями частот их встречаемости.

На этом этапе вещество Вселенной представляло собой плазму из глюонов, возбуждённых нестабильных t -протокварков, количество которых с охлаждением Вселенной постепенно уменьшалось, стабильных b -протокварков, количество которых на этом этапе было относительно постоянным, стабильных c -протокварков, количество

которых с охлаждением Вселенной постепенно увеличивалось, и безмассовых нейтральных предшественников W - и Z -бозона.

5.6. Появление s -протокварков

Дальнейшее остывание Вселенной привело к тому, что b -протокварк стал нестабилен. Поскольку b -протокварк принадлежит тому же нелокальному ансамблю, что и t -протокварк, и бозоном, излучаемым при распаде t -протокварка на данном этапе эволюции Вселенной, являлся безмассовый нейтральный предшественник W -бозона, распад нестабильного b -протокварка также сопровождался излучением безмассового нейтрального предшественника W -бозона. В результате этого b -протокварк превращался в s -протокварк.

На этом этапе были возможны взаимные осцилляции c - и s -протокварков, сопровождающиеся значимыми изменениями частот их встречаемости, и смешивание c - и s -протокварков с нестабильным b -протокварком.

На этом этапе вещество Вселенной представляло собой плазму из глюонов, возбуждённых нестабильных b -протокварков, количество которых с охлаждением Вселенной уменьшалось, стабильных c -протокварков, количество которых на этом этапе было относительно постоянным, стабильных s -протокварков, количество которых с охлаждением Вселенной постепенно увеличивалось, и безмассовых нейтральных предшественников W - и Z -бозона.

Единственными свойствами протокварков на этом этапе всё ещё были спин, равный $\frac{1}{2}$, и масса.

5.7. Нарушение электрослабой симметрии и появление нейтральных слабых токов

Следующий этап эволюции Вселенной начался в тот момент, когда Вселенная остыла до температуры, при которой безмассовые нейтральные предшественники W - и Z -бозона стали взаимодействовать с полем Хиггса. При этом они приобрели массу и превратились в нейтральные W^0 - и Z^0 -бозоны, соответственно.

До этого момента безмассовые нейтральные предшественники W - и Z -бозона, имея неограниченное время жизни, существовали в виде свободных частиц. С приобретением массы время жизни W^0 - и Z^0 -бозонов стало ограниченным. По истечении времени жизни W^0 - и Z^0 -бозонов их энергия должна была быть поглощена. Единственными частицами, способными поглотить их энергию, на этом этапе эволюции Вселенной были c - и s -протокварки. Поглощение W^0 - и Z^0 -бозонов делало c - и s -протокварки нестабильными. В этих условиях W^0 - и Z^0 -бозоны могли существовать

только поглощаясь и излучаясь с- и s-протокварками, при условии, что между актом поглощения и актом излучения бозона проходил период времени, меньший, чем необходимо для дестабилизации протокварка. То есть — в виде нейтральных слабых токов.

На этом этапе вещество Вселенной представляло собой плазму из глюонов, стабильных с- и s-протокварков и нейтральных W^0 - и Z^0 -бозонов в виде нейтральных слабых токов. Были возможны взаимные осцилляции с- и s-протокварков, не сопровождающиеся значимыми изменениями частот их встречаемости. Единственными свойствами протокварков были спин, равный $\frac{1}{2}$, и масса.

5.8. Фазовый переход КХД

Следующий этап эволюции Вселенной начался в тот момент, когда её температура снизилась до энергетического масштаба сильных ядерных взаимодействий. Произошедшие вследствие этого события теоретически описаны как фазовый переход КХД.

Вероятнее всего, объединение кварков на этом этапе происходило стохастически и приводило к появлению разнообразных составных частиц из их случайного количества и набора, которые при взаимных столкновениях могли менять свой состав. Вещество Вселенной на этом этапе, таким образом, представляло собой плазму из первичных адронов — кварк-глюонных комплексов различного состава, содержащих стабильные с- и s-протокварки; и нейтральных W^0 - и Z^0 -бозонов в виде нейтральных слабых токов. Были возможны взаимные осцилляции с- и s-протокварков, не сопровождающиеся значимыми изменениями частот их встречаемости. Единственными свойствами протокварков были спин, равный $\frac{1}{2}$, и масса.

5.9. Появление заряженных слабых токов, электромагнитного взаимодействия и лептонов третьего поколения

В результате продолжающегося расширения Вселенной плотность вещества постоянно снижалась. В тот момент, когда расстояние между первичными адронами превысило радиус действия слабого взаимодействия, начался следующий этап эволюции Вселенной. Существование в виде слабых токов всех существующих W^0 - и Z^0 -бозонов в этих условиях стало невозможным — слабые токи в этих условиях могли стабильно существовать только в вакууме КХД первичных адронов и нестабильно — между первичными адронами, расстояние между которыми в данный момент времени было меньше радиуса действия слабого взаимодействия. Это привело к устойчивому

сохранению части слабых токов W^0 - и Z^0 -бозонов в вакууме КХД первичных адронов и их распаду вне вакуума КХД, что в конечном итоге стало причиной появления электромагнитного взаимодействия и образования заряженных слабых токов W^+ - и W^- -бозонов.

Соотношение s- и c-протокварков на данном этапе эволюции Вселенной не известно, так как не известно, какое количество t-кварков распалось до b-кварков на момент электрослабого фазового перехода (раздел 5.5). Соотношение количества протокварков и слабых бозонов, в соответствии с моделью их появления, описанной в гипотезе, было следующим (без учёта влияния стохастических осцилляций протокварков): количество Z^0 -бозонов было равно количеству s-протокварков, количество W^0 -бозонов было равно сумме удвоенного количества s-протокварков и количества c-протокварков.

В вакууме КХД каждого первичного адрона было энергетически возможным существование в виде слабых токов ограниченного количества (которое для первичных адронов, состоящих из разного количества протокварков, было разным) W^0 -бозонов, превышение которого приводило к нестабильности как минимум одного протокварка. Таким образом, сохранение всех существующих во Вселенной W^0 -бозонов в виде слабых токов в вакууме КХД первичных адронов при любом соотношении s- и c-протокварков было невозможно.

W^0 -бозоны, "не поместившиеся" в вакуум КХД, стали распадаться с образованием виртуальных частиц со случайными свойствами. Необходимым условием существования новых частиц было "отведение" избыточной энергии от W^0 -бозона таким образом, чтобы все образующиеся в результате частицы были стабильны в существующих на тот момент условиях. Бозоном, "отводящим" избыточную энергию от W^0 -бозона стал фотон, появление которого было первым моментом существования электромагнитного взаимодействия; а частицами, образовавшимися в результате распада, — тау-лептон (τ^-) и тау-нейтрино (ν_τ). В результате этого преобразования W^0 -бозоны разделились на W^+ - и W^- -бозоны с образованием заряженных слабых токов.

В этих условиях преобладающей стала группировка кварков по три как наиболее энергетически выгодная в целях сохранения максимально возможного количества W^0 -бозонов в вакууме КХД первичных адронов (учитывая и фактор уменьшения стабильности первичных адронов с увеличением количества кварков в них в существующих условиях).

На этом этапе эволюции Вселенной впервые появилось электромагнитное взаимодействие и электрически заряженные частицы, а также получили условный

электрический заряд (как следствие заряда нуклона) протокварки, став наблюдаемыми сегодня кварками. С появлением электрического заряда стало возможно рождение пар частица-античастица, в результате чего впоследствии в реакциях взаимных превращений частиц появился антитаон (τ^+).

На этом этапе вещество Вселенной представляло собой плазму из адронов, содержащих стабильные c - и s -кварки, W^+ -, W^- и Z^0 -бозонов в виде заряженных и нейтральных слабых токов и лептонов третьего поколения.

5.10. Последовательный распад c - и s -кварков до d - и u -кварков, тау-лептонов до лептонов второго поколения и мюонов до лептонов первого поколения

В дальнейшем с уменьшением температуры Вселенной последовательно стали нестабильными: c - и s -кварки, которые с испусканием соответствующего W^+ -бозона превращались в d - и u -кварки; тау-лептоны, которые вероятно распались, в части случаев образуя новые, стабильные в существующих на данном этапе условиях, частицы — мюоны и мюонные нейтрино; а затем — мюоны, которые распались с образованием новых стабильных частиц — электронов и электронных нейтрино.

На этом этапе эволюции Вселенной полностью сформировались частицы и взаимодействия, составляющие современную стандартную модель.

Все существующие на современном этапе эволюции истинно элементарные фермионы составляют шесть нелокальных ансамблей (не считая нелокальных ансамблей античастиц): виртуальные b - и s - и реальные d -кварки в составе протона и нейтрона, находящегося под действием электромагнитного поля протона, — состоящие в гравитационном, сильном, слабом взаимодействиях и состоящие в электромагнитном взаимодействии с условным (как следствие заряда нуклона) отрицательным электрическим зарядом; виртуальные t - и c - и реальные u -кварки в составе протона и нейтрона, находящегося под действием электромагнитного поля протона, — состоящие в гравитационном, сильном, слабом взаимодействиях и состоящие в электромагнитном взаимодействии с условным (как следствие заряда нуклона) положительным электрическим зарядом; виртуальные t -, b -, c - и s - и реальные u - и d -кварки в составе свободного нейтрона — состоящие в гравитационном, сильном, слабом взаимодействиях и не состоящие в электромагнитном взаимодействии; тау-лептоны, мюоны и электроны — состоящие в гравитационном и слабом взаимодействиях, электромагнитном взаимодействии с отрицательным электрическим зарядом и не состоящие в сильном взаимодействии; три сорта нейтрино — состоящие в гравитационном и слабом и не состоящие в сильном и электромагнитном

взаимодействиях; частицы тёмной материи — не состоящие ни в каких взаимодействиях, кроме гравитационного.

Требования энергетической выгоды процесса делают возможными осцилляции только в двух из перечисленных нелокальных ансамблях: осцилляции трёх сортов нейтрино в ансамбле нейтрино и осцилляции u - и d -кварков в ансамбле кварков свободного нейтрона (что является вероятной причиной нестабильности свободного нейтрона). Остальные осцилляции, запрещённые требованиями энергетической выгоды, могут присутствовать в виде смешивания.

6. Заключение

Включение нелокальных процессов в модель эволюции элементарных частиц и взаимодействий ранней Вселенной позволяет сделать эту модель достаточно полной и непротиворечивой и решить в её рамках множество, не решённых в полностью локальных моделях, проблем, таких как: закономерности явлений осцилляций нейтрино и смешивания кварков; проблему барионной асимметрии; ту часть проблемы "тонкой настройки Вселенной", которая касается свободных параметров стандартной модели; вопрос о природе и происхождении частиц тёмной материи; проблему нестабильности свободного нейтрона и др.

Одновременно данная гипотеза поднимает новый, не менее серьёзный вопрос, уже затронутый в области квантовой теории: "каким образом и на основе каких физических сущностей происходят нелокальные квантовые явления?". Говоря словами Николя Жизена (Nicolas Gisin): "как Природа организует свою бухгалтерию и запоминает, какие измерения должны сопровождаться нелокальными корреляциями?" [13].

Я могу предположить, что в решении этого вопроса большую роль способна сыграть концепция дополнительных измерений, присутствующая в различных симметричных и суперсимметричных моделях и в моделях теории струн. Не исключено, что структуру физической реальности составляют не два вида измерений — пространственные измерения и время, а три. Что существует принципиально отличный и от пространства, и от времени вид измерений, о котором Николя Жизен говорит как о "чудовищно большом пространстве Гильберта" (monstrously vast Hilbert space) [13]. Измерений, при участии которых происходят все нелокальные квантовые процессы, включая объединение индивидуальных квантовых систем в нелокальные ансамбли и формирование в них значений квантовых вероятностей.

Так или иначе, этот вопрос может оказаться "дверью" к пониманию новой, ещё не известной, области физической реальности.

Литература:

- [1] В.А. Рубаков, Иерархии фундаментальных констант (к пунктам 16, 17 и 27 из списка В.Л. Гинзбурга), УФН, 177, 407 (2007)
- [2] С.В. Троицкий, Нерешённые проблемы физики элементарных частиц, УФН, 182, 77 (2012)
- [3] J.S Bell, On the Einstein-Podolsky-Rosen Paradox, Physics 1, 195 (1964)
- [4] R. Jackiw, A. Shimony, The depth and breadth of John Bell's physics, arXiv:physics/0105046
- [5] A. Aspect, J. Dalibard, and G. Roger, Experimental Tests of Bell's Inequalities Using Time-varying Analyzers, Phys. Rev. Lett. 49, 1804 (1982)
- [6] A. Aspect, Bell's theorem: the naive view of an experimentalist // Quantum [Un]speakables – From Bell to Quantum information, Reinhold A. Bertlmann and Anton Zeilinger (editors). Springer-Verlag, 2002
- [7] Artur K. Ekert, Quantum cryptography based on Bell's theorem // Phys. Rev. Lett. 67, 661 (1991)
- [8] J.S. Bell, The Ghost in the Atom, eds P.C.W Davies and J.R. Brown, Cambridge University Press, (1993)
- [9] G. Weihs, T. Jennewein, C. Simon, H. Weinfurter, and A. Zeilinger, Violation of Bell's Inequality under Strict Einstein Locality Conditions. Phys. Rev. Lett. 81, 5039 (1998)
- [10] M. A. Rowe, D. Kielpinski, V. Meyer, C. A. Sackett, W. M. Itano, C. Monroe and D. J. Wineland, Experimental violation of a Bell's inequality with efficient detection. Nature 409, 791 (2001)
- [11] D. N. Matsukevich, P. Maunz, D. L. Moehring, S. Olmschenk, and C. Monroe, Bell inequality violation with two remote atomic qubits. arXiv:0801.2184
- [12] N. Gisin, Can relativity be considered complete ? From Newtonian nonlocality to quantum nonlocality and beyond. arXiv:quant-ph/0512168
- [13] N. Gisin, Non-realism: deep thought or a soft option? arXiv:0901.4255
- [14] Bradley G. Christensen, Yeong-Cherng Liang, Nicolas Brunner, Nicolas Gisin, and Paul G. Kwiat, Exploring the limits of quantum nonlocality with entangled photons, arXiv:1506.01649
- [15] N. Brunner, D. Cavalcanti, S. Pironio, V. Scarani, S. Wehner, Bell nonlocality, Rev. Mod. Phys. 86, 419 (2014)

- [16] M. Ansmann, et al. Violation of Bell's inequality in Josephson phase qubits. Nature 461, 504 (2009)
- [17] B. G. Christensen, et al. Detection-loophole-free test of quantum nonlocality, and applications. Phys. Rev. Lett. 111, 130406 (2013)
- [18] M. Navascués, Y. Guryanova, M. J. Hoban, A. Acin, Almost quantum correlations. Nat. Commun. 6, 6288 (2015)
- [19] Reinhard F. Werner, Quantum states with Einstein-Podolsky-Rosen correlations admitting a hidden-variable model, Phys. Rev. A 40, 4277 (1989)
- [20] D. Salart, A. Baas, C. Branciard, N. Gisin and H. Zbinden, Testing the speed of "spooky action at a distance", Nature 454, 861 (2008)
- [21] R. Garisto, What is the speed of quantum information?, arXiv:quant-ph/0212078
- [22] A.J. Leggett, Nonlocal Hidden-Variable Theories and Quantum Mechanics: An Incompatibility Theorem, Foundations of Physics, 33 (10), 1469 (2003)
- [23] S. Groblacher, T. Paterek, R. Kaltenbaek, C. Brukner, M. Zukowski, M. Aspelmeyer & A. Zeilinger, An experimental test of non-local realism, Nature, 446 (19), 871 (2007)
- [24] Lee Smolin, A real ensemble interpretation of quantum mechanics. arXiv:1104.2822
- [25] Lee Smolin, Non-local beables, arXiv:1507.08576
- [26] Y. Fukuda et al. (Super-Kamiokande Collaboration), Evidence for oscillation of atmospheric neutrinos, Phys. Rev. Lett. V. 81 (1998)
- [27] Q. R. Ahmad et al. (SNO Collaboration), Measurement of the rate of $\nu_e + d \rightarrow p + p + e^-$ interactions produced by ^8B solar neutrinos at the Sudbury Neutrino observatory, Phys. Rev. Lett. V. 87 (2001)
- [28] Q. R. Ahmad et al. (SNO Collaboration), Direct evidence for neutrino flavor transformation from neutral-current interactions in the Sudbury Neutrino observatory, Phys. Rev. Lett. V. 89 (2002)
- [29] Y. Nambu and G. Jona-Lasinio, Dynamical Model of Elementary Particles Based on an Analogy with Superconductivity. I, Physical Review 122, 345 (1961)
- [30] Y. Nambu and G. Jona-Lasinio, Dynamical Model of Elementary Particles Based on an Analogy with Superconductivity. II, Physical Review 124, 246 (1961)
- [31] M. Kobayashi and T. Maskawa, CP Violation in the renormalizable theory of weak interaction, Prog. Theor. Phys. 49, 652 (1973)
- [32] Lee Smolin, The Present Moment in Quantum Cosmology: Challenges for the Argument for the Elimination of Time, arXiv:gr-qc/0104097

[33] Stuart Kauffman and Lee Smolin, A possible solution to the problem of time in quantum cosmology, arXiv:gr-qc/9703026v1

[34] N. Gisin, Time Really Passes, Science Can't Deny That, arXiv:1602.01497v1