

**Квантовый естественный отбор
как фактор формирования порядка, описываемого стандартной моделью
физики элементарных частиц.**

Васильев Сергей Викторович
sarai99@rambler.ru

На фоне всё новых и новых отрицательных результатов экспериментов, предназначенных подтвердить роль калибровочных преобразований в создании иерархии элементарных частиц и взаимодействий, всё чаще появляются альтернативные предположения и гипотезы, пытающиеся найти иной путь решения этой проблемы [1-3]. И все они рассматривают эволюцию Вселенной как преобразование начального максимально простого порядка в наблюдаемый сегодня более сложный порядок.

Наши представления о физике ранней Вселенной, включая и ту её часть, которая касается свойств микрообъектов, являются более или менее обоснованным допущением, сделанным на основе анализа и экстраполяции в прошлое наблюдаемых сегодня явлений. Всё, что касается описания первых мгновений существования Вселенной, представляет собой наибольшую загадку, поскольку этот этап её эволюции является связующим звеном между Вселенной с известными нам законами и теми сущностями, состояниями и явлениями, которые присутствовали до появления нашей Вселенной, либо полным отсутствием чего-либо вообще. И в первом, и во втором случае природа и физика происходящего на этом этапе нам пока абсолютно не понятны. Утверждение о том, что отправной точкой эволюции Вселенной обязательно был какой-то начальный простейший порядок, является недостаточно обоснованным и воспринималось до сих пор как априорно верное лишь по причине того, что не было никакой возможности представить какую-то приемлемую альтернативу.

Единственной возможной альтернативой начальному порядку Вселенной является начальный хаос. И новейшие открытия в физике высоких энергий и в квантовой физике позволяют обоснованно предположить возможность существования явлений, способных упорядочивать начальный хаос как на микроскопическом, так и на космологическом уровне, приводя в результате к тому сложному и разнообразному порядку, который мы имеем возможность наблюдать во Вселенной сегодня и который отчасти описывается стандартной моделью физики элементарных частиц. Механику и динамику этих предполагаемых явлений я здесь опишу.

Последними "следами" предполагаемого начального хаоса Вселенной, позволяющими судить о его природе, сегодня являются вероятностные осцилляции масс нейтрино [4-6] и явление смешивания кварков [29-31]. Я предполагаю, что в первые мгновения существования частиц ранней Вселенной их массы были представлены огромным множеством значений, намного более разнообразным, чем наблюдается сейчас; и эти значения масс индивидуальных частиц непрерывно осциллировали между собой. Этот процесс осцилляции протекал по описанному ниже вероятностному закону и в условиях последовательного выделения во Вселенной фундаментальных взаимодействий привёл к тому ограниченному количеству масс частиц, которое наблюдается сегодня и которое описано стандартной моделью физики элементарных частиц.

Поскольку данный процесс является вероятностным, он не ведёт однозначно к единственному возможному результату. Его возможные результаты представляют собой некоторое множество отличающихся друг от друга стандартных моделей, единственным условием формирования которых является способность частиц, составляющих их основу, вступать между собой в устойчивые взаимодействия. Таким образом, данная гипотеза является одновременно возможным решением проблемы "тонкой настройки"

фундаментальных физических констант Вселенной и проблемы "ландшафтов" теории струн. Решением, которое не требует подключения таких ненаблюдаемых и неанализируемых сущностей, как параллельные Вселенные многомировых гипотез или Бог-создатель, а целиком ограничивается явлениями, происходящими в нашей Вселенной.

Главную роль в предполагаемых законах, действие которых приводит к упорядочиванию начального хаоса масс частиц, играет природа происхождения значений вероятностей в процессах осцилляции. А это, в свою очередь, сводится к проблеме происхождения значений вероятностей в любых квантовых явлениях. Современное описание нейтринных осцилляций использует положения квантовой теории, в которой данная проблема всё ещё остаётся не решённой.

Вопрос: являются ли квантовые явления индетерминированными в реальности или их индетерминизм — лишь кажущееся следствие незнания неких "скрытых параметров", определяющих протекание квантовых процессов в рамках детерминизма, был доказательно решён многократной проверкой результатов экспериментов в области квантовой физики неравенствами Белла [7-10, 32]. Эта проверка выявила невозможность объяснить результаты экспериментов в рамках какой бы то ни было детерминистской теории и подтвердила реальную вероятностную природу квантовых явлений.

Следующим важным шагом в изучении квантовых явлений, дающим возможность сформировать новый подход к решению проблемы квантовых вероятностей, стало экспериментальное открытие таких феноменов как квантовая запутанность и нелокальные корреляции, главной особенностью которых является нарушение принципа локальности [11-21, 33].

Элементарным примером таких явлений может служить поведение спинов пары электронов, находящихся в состоянии квантовой запутанности. Когда один электрон из пары в ходе эксперимента посредством измерения вынуждают принять наблюдаемое значение спина, второй электрон, независимо от расстояния, которое отделяет его в этот момент от первого, также приобретает наблюдаемое значение спина, которое всегда согласовано со значением спина первого электрона в соответствии с принципом Паули. Статистический анализ результатов экспериментов с помощью неравенств Белла показывает, что до момента измерения ни у одного из двух запутанных электронов какого-либо определённого значения спина, которое могло бы стать известным при измерении, не существует; то есть их наблюдаемые значения появляются в результате измерения. И зафиксированное время, в течение которого происходит согласование значений спинов пары электронов, на достигнутых на данном этапе экспериментов расстояниях, исключает возможность коммуникации между ними с досветовой или световой скоростью [22,23]. Таким образом, речь идёт либо о распространении гипотетического носителя взаимозависимости со скоростью, значительно превышающей скорость света, либо (что не создаёт конфликтов с принципами теории относительности) о внепространственной природе нелокальных корреляций [16]. В последнем случае термины "распространение" и "скорость" в отношении этого явления вообще не имеют смысла. В этом случае то, что наблюдается как две разделённые в пространстве системы, — спины двух электронов — на самом деле является одной неразделённой системой, целостность которой носит внепространственный характер и эволюция которой происходит как единое явление.

Открытие этого свойства квантовых систем — способности к нелокальным корреляциям, — позволяет по-новому взглянуть на вопрос происхождения значений вероятностей в квантовых процессах.

Свидетельством существования нелокальных корреляций является нелокальная реализация уже известных физических законов, связывающих исследуемые состояния, как, например, принцип Паули для спинов пары запутанных электронов. Именно путём

исследования таких проявлений и был открыт этот феномен. Но нет никаких причин думать, что нелокальные процессы могут ограничиваться этими уже открытыми явлениями.

Нарушение принципа локальности в процессах квантовой запутанности открывает возможность существования в квантовом мире явлений, охватывающих одновременно сколь угодно большое количество объектов, занимающих сколь угодно большие области пространства, вплоть до космологических. Основываясь на этом, в 2014-м году канадский физик-теоретик Ли Смолин из Института теоретической физики "Периметр" предложил интерпретацию квантовой механики на основе реальных ансамблей [24,25], в которой механизм происхождения значений вероятностей во всех квантовых явлениях рассматривается как результат некоторого нелокального процесса. Для этого Смолин вводит понятие "реального ансамбля". Реальный ансамбль в его представлении — это существующая как реальный физический объект совокупность всех идентичных друг другу квантовых систем Вселенной, находящихся в одинаковом состоянии и пребывающих под воздействием одинаковых внешних сил. Эти системы находятся между собой в состоянии квантовой запутанности, через которую нелокально реализуется следующий закон: вероятность того или иного исхода квантового события, происходящего с индивидуальной системой данного реального ансамбля равна частоте встречаемости состояния, являющегося результатом данного исхода события среди всех индивидуальных систем ансамбля, в данный момент времени. (Термин "реальный ансамбль" кажется мне не совсем удачным и в дальнейшем описании вместо него я буду использовать термин "нелокальный ансамбль". Критерием принадлежности к тому или иному ансамблю я предполагаю, в отличие от Смолина, только нахождение системы под воздействием качественно одинаковых внешних сил, включая также взаимодействие частей системы друг с другом, создающее структуру системы; что в результате даёт картину, схожую с идентичностью систем друг другу и нахождению в одинаковом состоянии в видении Смолина. В отношении же истинно элементарных частиц единственным критерием, таким образом, остаётся нахождение частиц под воздействием одинаковых внешних сил.)

На основе этого предполагаемого Смолиным закона нелокального происхождения значений вероятностей в квантовых процессах с некоторыми дополнениями становится возможным объяснение механизма формирования порядка, описываемого стандартной моделью, из начального хаоса масс частиц. Применительно к описываемому мной в этой статье процессу осцилляции масс вновь появившихся частиц ранней Вселенной, лежащему в основе данного механизма, этот закон нелокального происхождения вероятностей выглядит следующим образом: вероятность приобретения частицей в результате осцилляции того или иного значения массы равна частоте встречаемости этого значения среди значений масс всех частиц нелокального ансамбля, к которому относится данная частица, в данный момент времени. Эту закономерность можно выразить следующей формулой:

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

где: P_a – вероятность приобретения частицей в результате осцилляции значения a массы; n_a – количество частиц с массой a в данном нелокальном ансамбле в данный момент времени; N – общее количество частиц в данном нелокальном ансамбле в данный момент времени.

Этот закон реализуется нелокально через явление квантовой запутанности всех индивидуальных частиц нелокального ансамбля. Во всех процессах, развивающихся согласно данному закону, масса не является фактором, определяющим принадлежность к тому или иному нелокальному ансамблю, а является квантовой переменной,

эволюционирующей со временем (за исключением частиц, с появлением электромагнитного взаимодействия получивших электрический заряд).

В первые мгновения существования Вселенной, в соответствии со способом взаимодействия с физическим окружением (статистика Бозе-Эйнштейна или статистика Ферми-Дирака), в ней выделилось два нелокальных ансамбля частиц: все существующие во Вселенной бозоны и все существующие во Вселенной фермионы.

Сначала рассмотрим возможный способ эволюции фермионных масс.

В условиях отсутствия в ранней Вселенной взаимодействий, осцилляции масс фермионов, проходившие по указанной вероятностной закономерности (1), не приводили ни к каким направленным изменениям частот встречаемости их значений и выражались в хаотической общей картине. С выделением первого взаимодействия — сильного ядерного — динамика процессов изменилась, приобретая направленный характер.

Выделение сильного ядерного взаимодействия привело к разделению исходного нелокального ансамбля фермионов на два: фермионы, находящиеся в данный момент в сильном взаимодействии, (будущие кварки) и фермионы, не находящиеся в данный момент в сильном взаимодействии, (будущие лептоны); с собственными для каждого ансамбля вероятностями осцилляции масс, определяющимися тем же законом (1). Вновь вступая в сильное взаимодействие и выходя из сильного взаимодействия, фермионы переходили из одного нелокального ансамбля в другой, тем самым меняя значения частоты встречаемости своего имеющегося на данный момент значения массы как в ансамбле, из которого вышли, так и в ансамбле, в который перешли, и соответственно, меняя значения вероятностей осцилляций масс частиц в обоих ансамблях. Таким образом, существовало два нелокальных ансамбля, способных "обмениваться" частицами в соответствии с их способностью или не способностью устойчиво вступать в сильное ядерное взаимодействие, которая, в свою очередь, зависит от массы.

Если представить себе в уме или создать в виде компьютерной модели динамику происходящих явлений, то будет получена следующая картина. Два процесса, наложенные друг на друга — осцилляция масс частиц, происходящая по указанному вероятностному закону (1) в двух нелокальных ансамблях отдельно, и "обмен" ансамблей частицами, происходящий в опосредованной зависимости от полученных ими в результате осцилляции значений массы, — приводят со временем к уменьшению частоты встречаемости (вплоть до полного исчезновения) значений массы, при которых частицы способны вступать в нестабильное сильное взаимодействие, и увеличению частоты встречаемости значений массы, при которых частицы способны вступать в максимально стабильное сильное взаимодействие или не способны вступать в него вообще. В результате этого процесса фермионы разделились на кварки и лептоны.

Таким образом, описанный вероятностный нелокальный закон осцилляции масс (1) в условиях поэтапного появления во Вселенной фундаментальных взаимодействий создаёт механизм естественного отбора значений масс частиц, направленного на уменьшение их начального разнообразия путём увеличения частоты встречаемости значений, отвечающих определённому требованию; а именно — стабильному поведению частиц в отношении их внешних взаимодействий — стабильному участию или стабильному не участию во взаимодействиях. И каждое новое появившееся фундаментальное взаимодействие становится новым фактором отбора и приводит к появлению новых нелокальных ансамблей.

Появление последним из всех электромагнитного взаимодействия привело к тому, что масса частиц, вступающих в него и получивших электрический заряд, стала одним из факторов, определяющих особенности внешних сил, действующих на данную частицу (характеристики электромагнитного поля частицы) и, соответственно, определяющим принадлежность частицы к нелокальному ансамблю. Нелокальные ансамбли заряженных

частиц, таким образом, включают частицы одинаковых масс, которые могут осциллировать только сами в себя, и для которых в результате этого процесс отбора оказывается завершённым.

Описанный механизм можно применить и к эволюции масс бозонов, а следовательно, — к эволюции фундаментальных взаимодействий. Если допустить, что константы взаимодействий не являются фундаментальными величинами Вселенной, а являются, так же как и массы, квантовыми переменными, определяющими состояние индивидуальных бозонов, то их современные значения могут быть результатом такого же отбора, основанного на вероятностной осцилляции. Таким образом, появление фундаментальных взаимодействий может быть связано с изменениями частоты встречаемости тех или иных значений массы и константы взаимодействия бозонов и выделением каких-то определённых их значений, дающих в существующих на момент протекания описанных процессов условиях Вселенной преимущества по образованию стабильных взаимодействий.

На возможность реального существования такого механизма нелокального происхождения квантовых вероятностей и являющегося его следствием процесса отбора квантовых состояний могут указывать результаты экспериментов Войцеха Зурека из лаборатории Лос-Аламос с "квантовой точкой", в которых были зафиксированы изменения со временем вероятностей квантовых событий в запутанных системах в сторону увеличения вероятностей событий, дающих более стабильный результат. На основе полученных результатов Зурек предложил информационную интерпретацию квантовой механики, которая в последние годы среди специалистов стала более популярной, чем многомировая интерпретация Эверетта [34], и развивает теорию "квантового дарвинизма" [26-28].

Предложенная в этой статье гипотеза, помимо объяснения механизма формирования порядка, описанного стандартной моделью, затрагивает и другие фундаментальные вопросы современной физики. В частности, она даёт понимание возможной роли вероятностных квантовых явлений в "работе" целостной Вселенной как основы универсального механизма отбора состояний, приводящих к наиболее стабильным результатам. В рамках гипотезы также появляется возможность по-новому взглянуть на фундаментальную проблему "стрелы времени" и необратимости физических процессов, так как явления, описанные в гипотезе подразумевают безвозвратное исчезновение из Вселенной информации о некоторых состояниях, которые "выбраковываются" в ходе отбора. С позиций данной гипотезы можно объяснить многие факты из различных областей физики, не имеющие на данный момент объяснения: происхождение частиц гипотетической "тёмной материи", неоднородность микроволнового фона "реликтового излучения", стабильность заряженных частиц и "смешивание масс" незаряженных частиц, включая нестабильность нейтрона вне области действия электромагнитных полей и т.д.

Также данная гипотеза вновь поднимает вопрос, обозначенный в результате открытия нелокальных корреляций: "каким образом и на основе чего происходят нелокальные явления?" [16]. Я лишь могу предположить, что в его решении большую роль способна сыграть теория струн, в особенности — её проблема "дополнительных" измерений. Не исключена возможность того, что структуру физической реальности составляют не два вида измерений — пространственные измерения и время, а три. Не исключено, что существует принципиально отличный и от пространства, и от времени вид измерений, который можно назвать нелокально-конфигурационным, — своеобразный "квантовый мир идей Платона", посредством которых происходят все нелокальные квантовые явления, включая объединение индивидуальных квантовых систем в нелокальные ансамбли и формирование квантовых вероятностей. И расчёты теории струн описывают закономерности процессов, происходящих в этой группе измерений, а сами "струны" являются сущностями, на основе принципов бытия которых и происходят эти процессы.

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

Литература:

- [1] Hiroki Matsui, Yoshio Matsumoto, Gravitational relaxation of electroweak hierarchy problem, arXiv:1608.08838
- [2] Nima Arkani-Hamed, Timothy Cohen, Raffaele Tito D’Agnolo, Anson Hook, Hyung Do Kim and David Pinner, Naturalness, arXiv:1607.06821
- [3] M. Shifman, Reflections and Impressionistic Portrait at the Conference "Frontiers Beyond the Standard Model," FTPI, Oct. 2012, arXiv:1211.0004
- [4] Y. Fukuda et al. (Super-Kamiokande Collaboration), Evidence for oscillation of atmospheric neutrinos // Phys. Rev. Lett. V. 81. Published 24 August 1998.
- [5] 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. Published 25 July 2001.
- [6] 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. Published 13 June 2002.
- [7] J.S Bell, "On the Einstein-Podolsky-Rosen Paradox", Physics 1, 195-200 (1964); reprinted in: J.S. Bell, Speakable and Unspeakable in Quantum Mechanics: Collected papers on quantum philosophy, (Cambridge University Press, Cambridge, 1987, revised edition 2004).
- [8] R. Jackiw, A. Shimony, The depth and breadth of John Bell's physics, arXiv:physics/0105046
- [9] A. Aspect, J. Dalibard, and G. Roger, "Experimental Tests of Bell's Inequalities Using Time-varying Analyzers", Phys. Rev. Lett. 49, 1804–7 (1982).
- [10] 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.
- [11] Tittel W., Brendel J., Zbinden H., and Gisin N. Violation of Bell Inequalities by Photons More Than 10 km Apart. Phys. Rev. Lett. 81, 3563-3566 (1998); *ibid* Phys. Rev. A, 59, 4150-4163 (1999).
- [12] Weihs G., Jennewein T., Simon C., Weinfurter H., and Zeilinger A. Violation of Bell's Inequality under Strict Einstein Locality Conditions. Phys. Rev. Lett. 81, 5039-5043 (1998).
- [13] 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, 791-794 (2001).
- [14] D. N. Matsukevich, P. Maunz, D. L. Moehring, S. Olmschenk, and C. Monroe, Bell inequality violation with two remote atomic qubits. arXiv:0801.2184.
- [15] Nicolas Gisin, Can relativity be considered complete ? From Newtonian nonlocality to quantum nonlocality and beyond. arXiv:quant-ph/0512168
- [16] Nicolas Gisin, Are there quantum effects coming from outside space-time? Nonlocality, free will and "no many-worlds". ArXiv:1011.3440.
- [17] 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

- [18] N. Brunner, D. Cavalcanti, S. Pironio, V. Scarani, S. Wehner, Bell nonlocality, *Rev. Mod. Phys.* 86, 419 (2014).
- [19] M. Ansmann, et al. Violation of Bell's inequality in Josephson phase qubits. *Nature* 461, 504-506 (2009).
- [20] B. G. Christensen, et al. Detection-loophole-free test of quantum nonlocality, and applications. *Phys. Rev. Lett.* 111, 130406 (2013).
- [21] M. Navascués, Y. Guryanova, M. J. Hoban, A. Acín, Almost quantum correlations. *Nat. Commun.* 6, 6288 (2015).
- [22] Daniel Salart, Augustin Baas, Cyril Branciard, Nicolas Gisin and Hugo Zbinden, Testing the speed of "spooky action at a distance", *Nature* 454, 861 (2008).
- [23] R. Garisto, What is the speed of quantum information?, arXiv:quant-ph/0212078.
- [24] Lee Smolin, A real ensemble interpretation of quantum mechanics. arXiv:1104.2822.
- [25] Lee Smolin, Non-local beables, arXiv:1507.08576.
- [26] W. H. Zurek, Quantum Darwinism, *Nature Physics* 5 (2009) 181-188, arXiv:0903.5082.
- [27] W. H. Zurek, Decoherence, einselection, and the quantum origins of the classical, *Reviews of Modern Physics*, 75, 715-765 (2003).
- [28] M. Zwolak, H. T. Quan, and W. H. Zurek, Quantum Darwinism in a Hazy Environment, arXiv:0904.0418
- [29] Y. Nambu and G. Jona-Lasinio, Dynamical Model of Elementary Particles Based on an Analogy with Superconductivity. I // *Physical Review* 122, 345–358 (1961).
- [30] Y. Nambu and G. Jona-Lasinio, Dynamical Model of Elementary Particles Based on an Analogy with Superconductivity. II // *Physical Review* 124, 246–254 (1961).
- [31] M. Kobayashi and T. Maskawa, CP Violation in the renormalizable theory of weak interaction // *Prog. Theor. Phys.* 49, 652–657 (1973).
- [32] Artur K. Ekert, Quantum cryptography based on Bell's theorem // *Phys. Rev. Lett.* 67, 661–663 (1991).
- [33] Reinhard F. Werner, Quantum states with Einstein-Podolsky-Rosen correlations admitting a hidden-variable model // *Phys. Rev. A* 40, 4277–4281 (1989).
- [34] Maximilian Schlosshauer, Johannes Kofler, and Anton Zeilinger, A Snapshot of Foundational Attitudes Toward Quantum Mechanics, arXiv:1301.1069.