

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

Васильев Сергей Викторович

vasssergio@gmail.com

На фоне всё новых и новых отрицательных результатов экспериментов, предназначенных подтвердить роль происходящих как часть физической реальности 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]. 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 системой в той или иной степени обоснованных допущений, сделанных 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 непременно был какой-то простейший начальный порядок, является, таким образом, недостаточно обоснованным и воспринималось до сих пор как априорно верное лишь по той причине, что не было никакой возможности представить ему какую-то приемлемую альтернативу.

Единственной возможной альтернативой начальному простейшему порядку состояний и свойств частиц и взаимодействий ранней Вселенной является их начальное неупорядоченное разнообразие, которое, за неимением выработанной терминологии, можно с некоторым приближением охарактеризовать общим понятием "хаос". Новейшие открытия в физике высоких энергий и в квантовой физике позволяют обоснованно предположить возможность существования явлений, способных упорядочивать такой начальный "хаос" как в микроскопическом, так и в космологическом масштабе, приводя в результате к тому сложному и разнообразному порядку, который мы имеем удовольствие 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 в этой гипотезе начального "хаоса" ранней Вселенной, позволяющими судить о его природе, сегодня являются вероятностные осцилляции масс нейтрино [4-6] и явление смешивания кварков [7-9]. 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 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 единственно 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, устойчиво участвовать в фундаментальных взаимодействиях. Таким образом, данная гипотеза является одновременно возможным решением проблемы "тонкой настройки" некоторых 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 наблюдаемыми 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 либо не решённой, либо выводится за рамки применимости квантовой теории как фундаментальное свойство Вселенной, не требующее дальнейшего обоснования.

Возможные теоретические обоснования квантовых явлений составляют несколько групп теорий. Вопрос о невозможности описания квантовых явлений в рамках локально-реалистических теорий со скрытыми параметрами был доказательно решён экспериментальной проверкой неравенств Белла [10-14]. Последующие эксперименты в этой

области привели к открытию таких феноменов как квантовая запутанность и нелокальные корреляции, теоретически предсказанных в рамках решения теоремы Белла, главной особенностью которых является нарушение принципа локальности в результате не имеющей пока физического обоснования способности квантовых систем взаимодействовать "за сценой" ("behind the scene" — обозначение, которое впервые употребил Джон Белл [15]) через пространственно-подобный интервал [16-28]. Формулирование теоремы Легетта [31] и её экспериментальная проверка [37], подобно экспериментальной проверке теоремы Белла, позволили отсеять часть нелокально-реалистических теорий как теории, не способные описать результаты экспериментов. К оставшейся группе не исключённых нелокально-реалистических теорий относится теория, о следствиях которой пойдёт речь в этой статье.

Нарушение принципа локальности в процессах квантовой запутанности открывает гипотетическую 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" (Perimeter Institute for Theoretical Physics) предложил интерпретацию квантовой механики на основе реальных ансамблей [29,30], 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. Идентичность друг другу индивидуальных систем реального ансамбля выводится из возможности представления этих систем как суммы неразличимых компонентов (частиц), находящихся между собой в неразличимых взаимодействиях. Т.е. в данном случае термины "идентичность" и "неразличимость" описывают одно и то же отношение. Такие неразличимые индивидуальные системы реального ансамбля находятся между собой в состоянии квантовой запутанности, через которую нелокально реализуется следующий закон: вероятность того или иного исхода квантового события, происходящего с данной индивидуальной системой данного реального ансамбля в данный момент времени равна частоте встречаемости состояния, являющегося результатом данного исхода события, среди всех индивидуальных систем ансамбля, в данный момент времени. (Термин "реальный ансамбль" я считаю 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 сил, включая как внешние силы, так и силы взаимодействия частей системы друг с другом, создающие 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, который является фактором среды, в которой движется заряженная частица и таким образом является в её отношении внешней силой).

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, приобретя 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 на $1/N$ значения вероятностей осцилляции 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 в фундаментальных 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 движения частицы в собственном электромагнитном поле) 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 индивидуальных 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 (Los Alamos National Laboratory) с "квантовой точкой" [32-34], 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 [35], и развивает теорию "квантового дарвинизма".

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 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.

Также данная гипотеза вновь поднимает вопрос, обозначенный в результате открытия нелокальных квантовых корреляций: "каким образом и на основе чего происходят нелокальные квантовые явления?". Говоря словами Николя Жизена: "как Природа организует свою бухгалтерию и запоминает, какие измерения должны сопровождаться нелокальными корреляциями?" [20]. 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, о котором Николя Жизен говорит как о "чудовищно большом пространстве Гильберта" (*monstrously vast Hilbert space*) [20]. Измерений, посредством которых происходят все нелокальные квантовые явления, включая объединение индивидуальных квантовых систем в нелокальные ансамбли и формирование квантовых вероятностей. И расчёты теории струн, таким образом, 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] Y. Nambu and G. Jona-Lasinio, Dynamical Model of Elementary Particles Based on an Analogy with Superconductivity. I // *Physical Review* 122, 345–358 (1961).
- [8] Y. Nambu and G. Jona-Lasinio, Dynamical Model of Elementary Particles Based on an Analogy with Superconductivity. II // *Physical Review* 124, 246–254 (1961).
- [9] M. Kobayashi and T. Maskawa, CP Violation in the renormalizable theory of weak interaction // *Prog. Theor. Phys.* 49, 652–657 (1973).
- [10] J.S Bell, "On the Einstein-Podolsky-Rosen Paradox", *Physics* 1, 195-200 (1964); reprinted in: J.S. Bell, *Speakable and Unsayable in Quantum Mechanics: Collected papers on quantum philosophy*, (Cambridge University Press, Cambridge, 1987, revised edition 2004).
- [11] R. Jackiw, A. Shimony, The depth and breadth of John Bell's physics, arXiv:physics/0105046
- [12] A. Aspect, J. Dalibard, and G. Roger, "Experimental Tests of Bell's Inequalities Using Time-varying Analyzers", *Phys. Rev. Lett.* 49, 1804–7 (1982).
- [13] 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.
- [14] Artur K. Ekert, Quantum cryptography based on Bell's theorem // *Phys. Rev. Lett.* 67, 661–663 (1991).

- [15] J.S. Bell, *The Ghost in the Atom*, eds P.C.W Davies and J.R. Brown, Cambridge University Press, (1993).
- [16] 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).
- [17] 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).
- [18] D. N. Matsukevich, P. Maunz, D. L. Moehring, S. Olmschenk, and C. Monroe, Bell inequality violation with two remote atomic qubits. arXiv:0801.2184.
- [19] Nicolas Gisin, Can relativity be considered complete ? From Newtonian nonlocality to quantum nonlocality and beyond. arXiv:quant-ph/0512168
- [20] Nicolas Gisin, Non-realism: deep thought or a soft option?. arXiv:0901.4255.
- [21] 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
- [22] N. Brunner, D. Cavalcanti, S. Pironio, V. Scarani, S. Wehner, Bell nonlocality, *Rev. Mod. Phys.* 86, 419 (2014).
- [23] M. Ansmann, et al. Violation of Bell's inequality in Josephson phase qubits. *Nature* 461, 504-506 (2009).
- [24] B. G. Christensen, et al. Detection-loophole-free test of quantum nonlocality, and applications. *Phys. Rev. Lett.* 111, 130406 (2013).
- [25] M. Navascués, Y. Guryanova, M. J. Hoban, A. Acin, Almost quantum correlations. *Nat. Commun.* 6, 6288 (2015).
- [26] Reinhard F. Werner, Quantum states with Einstein-Podolsky-Rosen correlations admitting a hidden-variable model // *Phys. Rev. A* 40, 4277–4281 (1989).
- [27] Daniel Salart, Augustin Baas, Cyril Branciard, Nicolas Gisin and Hugo Zbinden, Testing the speed of "spooky action at a distance", *Nature* 454, 861 (2008).
- [28] R. Garisto, What is the speed of quantum information?, arXiv:quant-ph/0212078.
- [29] Lee Smolin, A real ensemble interpretation of quantum mechanics. arXiv:1104.2822.
- [30] Lee Smolin, Non-local beables, arXiv:1507.08576.
- [31] A. J. Leggett, Nonlocal Hidden-Variable Theories and Quantum Mechanics: An Incompatibility Theorem // *Foundations of Physics*, 33 (10), 1469-1493 (2003).
- [32] W. H. Zurek, Quantum Darwinism, *Nature Physics* 5 (2009) 181-188, arXiv:0903.5082.
- [33] W. H. Zurek, Decoherence, einselection, and the quantum origins of the classical, *Reviews of Modern Physics*, 75, 715-765 (2003).

[34] M. Zwolak, H. T. Quan, and W. H. Zurek, Quantum Darwinism in a Hazy Environment, arXiv:0904.0418

[35] Maximilian Schlosshauer, Johannes Kofler, and Anton Zeilinger, A Snapshot of Foundational Attitudes Toward Quantum Mechanics, arXiv:1301.1069.

[36] S. Groblacher, T. Paterek, R. Kaltenbaek, C. Brukner, M. Zukowski, M. Aspelmeyer & A. Zeilinger, An experimental test of non-local realism // Nature, 446 (19), 871-875 (2007).