

DOI: 10.22363/2224-7580-2022-2-55-61

СИЛЬНО НАРУШЕННАЯ МАСШТАБНАЯ ИНВАРИАНТНОСТЬ ПРОСТРАНСТВА-ВРЕМЕНИ (КВАНТОВО-МЕХАНИЧЕСКИЙ АСПЕКТ)

Б.Н. Фролов

*Институт физики, технологии и информационных систем
Московского педагогического государственного университета
Российская Федерация, 119435, Москва, Малая Пироговская ул., 1/1*

Аннотация. Обсуждается гипотеза о том, что Вселенная в своей эволюции демонстрирует в той или иной степени сильно нарушенную масштабную инвариантность. Фундаментальной группой пространства-времени при этом является не группа Пуанкаре, а группа Пуанкаре–Вейля. В случае сильно нарушенной масштабной инвариантности с очень большой вероятностью частица будет обнаружена вблизи своей классической траектории, но существует крайне малая (но тем не менее отличная от нуля!) вероятность обнаружить эту частицу существенно далеко от ее классической траектории, обеспечивая квантово-механическую нелокальность как в пространстве, так и во времени. Представленные соображения могут привести к формулировке новой интерпретации квантовой механики. Обсуждается возможное изменение постоянной Планка со временем.

Ключевые слова: сильно нарушенная масштабная инвариантность, квантово-механическая парадигма, нелокальность, постоянная Планка

В работе продолжается начатое на конференциях по основаниям фундаментальной физики обсуждение явлений, связанных с высказанной в [1–3] гипотезой о том, что Вселенная в своей эволюции проявляет в той или иной степени сильно нарушенную масштабную инвариантность.

Основанием для формулировки данной гипотезы является идея, предложенная Е. Харрисоном и Я.Б. Зельдовичем [4–6] о приближенной масштабной инвариантности ранней Вселенной для расчета начальной части спектра первичных флуктуаций плотности материи. В [6] приведен результат расчета теоретического спектра анизотропии реликтового излучения (плато Харрисона–Зельдовича) в соответствии с предсказанием стандартной модели.

Предположение Е. Харрисона и Я.Б. Зельдовича было частично подтверждено наблюдениями WAMP температурной неоднородности реликтового излучения.

Также можно утверждать, что гипотеза Харрисона–Зельдовича соответствует последним данным лаборатории PLANK [7] по измерению спектрального индекса скалярных возмущений, равного $n_s = 0,9663 \pm 0,0041$. Для спектра Харрисона–Зельдовича спектральный индекс в точности равен

единице, $n_s = 1$, что означает хорошее совпадение реального спектра возмущений со спектром Харрисона–Зельдовича.

Автором в работах [1–3] высказана гипотеза, что в более раннюю эпоху, более близкую к Большому взрыву, масштабная инвариантность Вселенной была выражена более резко, а сам Большой взрыв был *следствием спонтанного нарушения точной масштабной инвариантности*, связанным с топологическим переходом от нехаусдорфова пространства-времени к хаусдорфову, в котором возникает понятие расстояния между точками. Поэтому был сделан вывод, что группой инвариантности пространства-времени в эпоху сверхранней Вселенной является *не группа Пуанкаре, а группа Пуанкаре–Вейля*, в которой преобразования группы Пуанкаре дополнены преобразованиями подгруппы Вейля – растяжениями и сжатиями (дилатациями) пространства-времени [8; 9].

Соответственно, в [3] автором высказано предположение, что, наоборот, по мере удаления от Большого взрыва пространство-время приобретает свойства все более и более нарушенной масштабной инвариантности, и *к настоящему времени масштабная инвариантность оказывается чрезвычайно нарушенной*. Но фундаментальной группой пространства-времени по-прежнему остается группа Пуанкаре–Вейля, и это состояние пространства-времени с математической (и физической) точки зрения оказывается существенно отличным от принятого со времени открытого Минковским представления о пространстве-времени как псевдоевклидова пространства с группой Пуанкаре в качестве фундаментальной группы.

Однако здесь следует уточнить, что под масштабной инвариантностью обычно принято понимать следующую ситуацию. У нас есть понимание масштаба, что именно считать малым, а что большим, например, вследствие наличия частиц с массами покоя. Но некоторые уравнения (называемые масштабно инвариантными) одинаково справедливы, независимо от выбора масштаба расстояний. Например, уравнения Максвелла одинаково точно выполняются как на планковских масштабах, так и на макроскопическом уровне.

Вместе с тем в сверхранней Вселенной вблизи Большого взрыва имела место другая ситуация. Частицы с массой покоя еще не созданы, и нет возможности установить масштаб расстояний. В этом случае *в пространстве с точной масштабной инвариантностью* расстояния как бы отсутствуют и *все точки пространства становятся одинаково близкими друг другу*. Поэтому физическая частица может как бы мгновенно перемещаться в пространстве-времени. Любая структура в пространстве непричинным образом влияет на любую другую структуру, и любое взаимодействие является дальнедействующим. Это очень похоже на то, что, согласно Ю.С. Владимирову [10], происходит в реляционной парадигме. А именно выполняется принцип Маха, и закон гравитации Ньютона оказывается дальнедействующим.

Чтобы различить описанные выше две различные ситуации, мы предлагаем во втором случае использовать новый термин – *дистантная инвариантность* (инвариантность относительно произвольного выбора расстояний).

Но тогда возникает непростой вопрос, *как понять пространство-время с сильно нарушенной дистантной (масштабной) инвариантностью.*

Автор понимает это следующим образом. Точное положение частицы на траектории несовместимо со свойством дистантной инвариантности пространства, хотя бы и сильно нарушенной. При сильно нарушенной дистантной инвариантности с очень большой вероятностью частица обнаруживается вблизи своей классической траектории, но *существует крайне малая (но тем не менее отличная от нуля!) вероятность обнаружения этой частицы существенно далеко от своей классической траектории.* Тут мы узнаем некоторые утверждения квантово-механической парадигмы.

Другими словами, частица, хотя и в крайне редких случаях, имеет возможность как бы мгновенно попасть в любую точку пространства. Тем самым предлагаемая гипотеза о сильно нарушенной в настоящее время дистантной инвариантности позволяет некоторому очень малому числу частиц мгновенно перемещаться на большие расстояния, обеспечивая *квантово-механическую нелокальность* [11]. Также благодаря этой гипотезе такое перемещение в принципе возможно из будущего в настоящее и из настоящего в прошлое, обеспечивая *нелокальность во времени.* Такого рода явления также обсуждаются в [12].

Мы приходим к важному выводу о том, что распределение частиц в пространстве в случае нарушенной дистантной инвариантности должно описываться вероятностным образом. Для этого в пространстве-времени должна быть определена некоторая *вероятностная мера.*

На основании изложенных идей автором в [3] было высказано предположение, что сильно нарушенная дистантная инвариантность пространства-времени находится в определенных отношениях с проблемами квантово-механической парадигмы.

Рассмотрим для простоты нерелятивистский случай. Процедура введения на множестве нерелятивистских классических траекторий вероятностной меры описана в [13], которую мы здесь кратко воспроизведем с небольшим дополнением.

Как известно, динамика классических частиц подчиняется уравнению Гамильтона–Якоби, которое, если ограничиться нерелятивистским одномерным движением, имеет вид [13]

$$\frac{\partial S}{\partial t} + \frac{1}{2m} \left(\frac{\partial S}{\partial x} \right)^2 + U(x, t) = 0. \quad (1)$$

Здесь S – действие, $(\partial S / \partial x)$ – импульс частицы, а функция $U(x, t)$ описывает взаимодействие частицы с другими объектами в пространстве. Это уравнение в классической механике описывает точное положение частицы со временем на траектории движения. Причина этого заключена в справедливости второго закона Ньютона, который связывает производную от импульса (вторую производную от действия) через понятие силы с энергией взаимодействия.

Предлагается действие S представить в виде

$$\psi(x, t) = \exp\left\{\frac{i}{\hbar} S\right\}, \quad (2)$$

где \hbar – постоянная Планка. В результате дифференцирования имеем

$$\frac{\partial \psi}{\partial t} = \frac{i}{\hbar} \frac{\partial S}{\partial t} \psi, \quad \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} = \left[-\frac{1}{\hbar^2} \left(\frac{\partial S}{\partial x} \right)^2 + \frac{i}{\hbar} \frac{\partial^2 S}{\partial x^2} \right] \psi. \quad (3)$$

Второе слагаемое во второй формуле в (3) очень мало (более, чем на 30 порядков) по сравнению с первым слагаемым. К тому же оно содержит вторую производную от действия, которая, как указано ранее, ответственна за учет второго закона Ньютона в уравнении Гамильтона–Якоби (1). Поэтому, как предложено в [13], это слагаемое исключаем из уравнения (3), из которого затем находим производные от действия S и подставляем их в (1). В результате получаем уравнение

$$i\hbar \frac{\partial \psi}{\partial t} = -\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + U(x, t)\psi, \quad (4)$$

представляющее собой не что иное, как уравнение Шредингера для одномерного случая. Если ввести оператор импульса как $\hat{p} = -i\hbar(\partial/\partial x)$, то правая часть уравнения (4) будет равна $\left[(\hat{p}^2 / 2m) + U \right]$, то есть оператору энергии (гамильтониану) [13].

В результате возникают два уравнения, отличающиеся на слагаемое с 30 порядком малости. Возникает вопрос, какое из этих уравнений точное, а какое приближенное. Анализ всей существующей физической ситуации позволяет утверждать, что именно уравнение (4) является точным, а уравнение (1) приближенным.

Тем самым выясняется, что квантово-механическое описание реальности (уравнение Шредингера) действительно реализует нарушенную дистантную инвариантность пространства-времени, причем мера этого нарушения определяется величиной постоянной Планка. Классическая траектория размывается в соответствии с принципом неопределенности, регулируемым величиной постоянной Планка. При этом вероятность обнаружить частицу вблизи классической траектории гораздо выше, чем на большом расстоянии от траектории.

Фактически приведенные выше соображения представляют собой еще одну интерпретацию волновой функции как механизма, обеспечивающего вероятностную меру для реализации сильно нарушенной дистантной инвариантности пространства-времени.

Приведенные здесь соображения при дальнейшей их разработке могут привести к формулировке *новой интерпретации квантовой механики*. Например, в новой интерпретации частицы являются стандартно понимаемыми

частицами, не нагруженными дополнительным свойством волн де-Бройля. А их квантово-механическое поведение проявляется вследствие сильно нарушенной дистантной инвариантности пространства-времени только при их экспериментальном обнаружении. Что касается математического аппарата квантовой механики, то он остается прежним, изменяется только содержательно понимаемое философское осмысление. Например, при выводе принципа неопределенности Гейзенберга нет необходимости использовать понятие волн де-Бройля, достаточно формального аппарата квантовой механики. Интеграл Фейнмана фактически позволяет вычислять амплитуду перехода из начальной точки пространства-времени в любую другую произвольную точку. При этом при вычислении этого интеграла используются любые траектории, в том числе не отягощенные релятивистскими ограничениями, то есть предполагается возможность практически мгновенного перехода от точки к точке.

Однако здесь возникает *новое обстоятельство*. В соответствии с принятой гипотезой нарушение масштабной инвариантности пространства-времени изменялось за время эволюции Вселенной, что влечет за собой возможность изменения со временем постоянной Планка. Крайне заманчиво установить соответствие возможного изменения со временем постоянной Планка с возможным изменением со временем эффективной космологической постоянной, которая, как известно, интерпретируется как энергия вакуума, определяемая квантовыми флуктуациями, величина которых среди других причин зависит также от величины постоянной Планка.

Действительно, в сверххранной Вселенной вблизи Большого взрыва величина эффективной космологической постоянной (энергия вакуума), а следовательно, и величина квантовых флуктуаций была огромна и отличалась от современного значения на 120 порядков. В этом заключается известная проблема космологической постоянной. Данное обстоятельство может соответствовать большой величине постоянной Планка, распространяющей квантовые законы на всю Вселенную, независимо от масштабов явлений. В это время классическая физика никак себя не проявляет ни в какой области пространства, а масштабная (дистантная) инвариантность реализуется как почти точная симметрия.

В работах [14–17] было найдено космологическое решение для сверххранной Вселенной, в котором через крайне малое время после Большого взрыва (регулируемое свободными параметрами теории) огромная величина эффективной космологической постоянной (энергии вакуума) резко экспоненциально спадает и затем все время эволюции Вселенной, медленно уменьшаясь, приближается к своему современному значению (рис. 1).

Постоянная Планка за крайне малое время может аналогично резко спадать от своего большого значения в сверххранной Вселенной до значения, сравнимого с современным, и затем, медленно уменьшаясь, приближаться к своему современному значению.

Фактически изложенная гипотеза изменения постоянной Планка со временем представляет собой еще одно возможное объяснение указанной проблемы космологической постоянной.

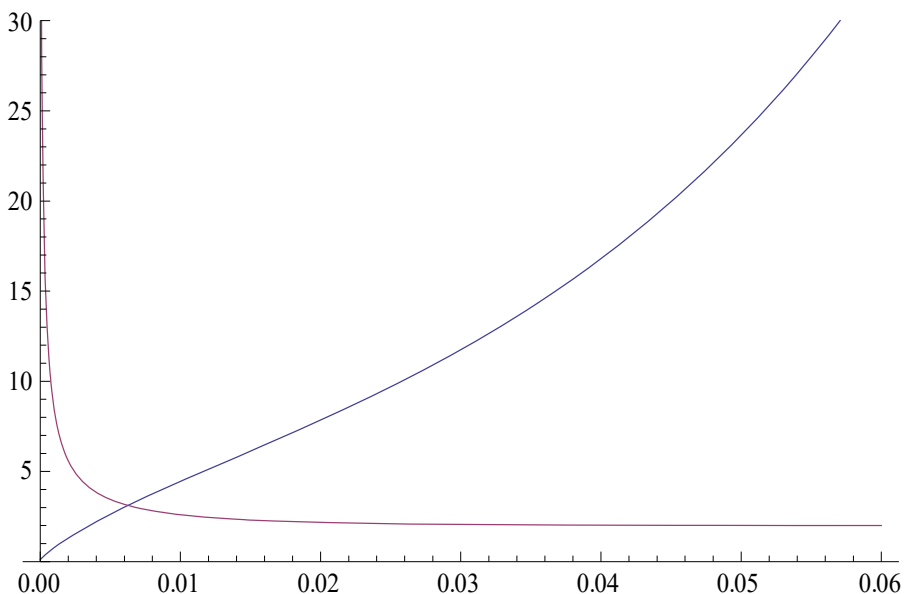


Рис. 1. Поведение масштабного фактора и эффективной космологической постоянной при больших временах

Изложенные теоретические соображения в принципе проверяемы, если в ранней Вселенной найдется явление, которой может быть объяснено более адекватным образом, если при вычислениях принять постоянную Планка равной несколько большей величине, чем ее современное значение.

В настоящее время обсуждается объявленное в 1999 г. Джоном Уэббом с соавторами возможное изменение со временем постоянной тонкой структуры за время порядка 10 млрд лет [18]. Возможно, что причиной такого изменения является как раз изменение со временем постоянной Планка. Данный вопрос требует дальнейшего тщательного исследования.

Литература

1. Фролов Б. Н. Группа Пуанкаре–Вейля и теория гравитации Вейля–Дирака // *Метафизика*. 2017. № 4 (26). С. 75–79.
2. Фролов Б. Н. Аксиома отделимости Хаусдорфа и спонтанное нарушение масштабной инвариантности // *Метафизика*. 2019. № 2 (32). С. 120–127.
3. Фролов Б. Н. Точная масштабная инвариантность в эпоху начала Большого взрыва как проблема фундаментальной физики // *Метафизика*. 2019. № 3 (37). С. 94–100.
4. Harrison E. R. Fluctuations at the Threshold of Classical Cosmology // *Phys. Rev. D*. 1970. V. 1. P. 2726.
5. Зельдович Я. Б. Гипотеза, единым образом объясняющая структуру и энтропию Вселенной // *Избранные труды. Частицы, ядра, Вселенная*. Ч. 2. М.: Наука, 1985. С. 176–179.
6. Сажин М. В. Анизотропия и поляризация реликтового излучения. Последние данные // *УФН*. 2004. Т. 174. № 2. С. 197–205.
7. Aghanim N. et al. [Planck Collaboration], Planck 2018 results. VI. Cosmological parameters. URL: ArXiv:1807.06209 [astro-ph.CO].
8. Babourova O. V., Frolov B. N., Zhukovsky V. Ch. Gauge field theory for the Poincaré–Weyl group // *Phys. Rev. D*. 2006. V. 74. P. 064012–1–12 (gr-qc/ 0508088, 2005).

9. Babourova O. V., Frolov B. N., Zhukovsky V. Ch. Theory of Gravitation on the Basis of the Poincaré–Weyl Gauge Group // *Gravit. Cosmol. (Гравитация и космология)*. 2009. Vol. 15, no. 1. P. 13–15.
10. Владимирюв Ю. С. Реляционная картина мира. М.: ЛЕНАНД, 2021. Книга 1. 224 с. Книга 2. 305 с.
11. Гринштейн Дж., Зайонц А. Квантовый вызов. Современные исследования оснований квантовой механики. Долгопрудный. Издательский Дом «Интеллект», 2008. 400 с.
12. Массер Дж. Нелокальность. «Альпина Диджитал», 2018. 430 с.
13. Казаков К. А. Введение в теоретическую и квантовую механику. МГУ, физич. факультет, 2008. <http://vega.phys.msu.ru>teormech>classquant>
14. Babourova O. V., Frolov B. N. Harrison–Zel’dovich scale invariance and the exponential decrease of the “cosmological constant” in the super-early Universe. URL: ArXiv: 2001.05968 [gr-qc]. 2020.
15. Babourova O. V., Frolov B. N. On the exponential decrease of the “cosmological constant” in the super-early Universe // *J. Phys: Conf. Series*. 2020. Vol. 1557. P. 012011.
16. Babourova O. V., Frolov B. N. The Solution of the Cosmological Constant Problem: The Cosmological Constant Exponential Decrease in the Super-Early Universe // *Universe*. 2020. 6 (12): 230.
17. Babourova O. V., Frolov B. N. Decrease of the effective cosmological constant in the Poincaré gauge theory of gravity with a scalar field // *Journal of Physics: Conference Series*. 2021. V. 2081. P. 012015.
18. Webb J. K., King J. A., Murphy M. T., Flambaum V. V., Carswell R. F., Bainbridge M. B. Evidence for spatial variation of the fine structure constant. URL: ArXiv: 1008.3907[astro-ph.CO]. 2010.

STRONGLY VIOLATED SCALE INVARIANCE OF SPACE-TIME (QUANTUM-MECHANICAL ASPECT)

B.N. Frolov

*Institute of Physics, Technology and Information Systems
Moscow Pedagogical State University (MPGU)
1/1 Malaya Pirogovskaya St, Moscow, 119435, Russian Federation*

Abstract. The hypothesis that the Universe in its evolution exhibits, to one degree or another, strongly violated scale invariance is discussed. The fundamental group of space-time now is not the Poincaré group, but the Poincaré–Weyl group. In case with a very high probability a particle is found near its classical trajectory, but there is an extremely small (but nonetheless nonzero!) probability of detecting this particle far from its classical trajectory, providing quantum mechanical nonlocality both in space and in time. The considerations presented here, in their further study, may lead to the formulation of a new interpretation of quantum mechanics. A possible change in Planck’s constant over time is discussed.

Keywords: strongly broken scale invariance, quantum mechanical paradigm, nonlocality, Planck’s constant