

К ГИПОТЕЗЕ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ВСЕЛЕННОЙ ИЗ КВАНТОВОЙ ФЛУКТУАЦИИ

Ихлов Б. Л.

Введение

Обобщение принципа неопределенности на релятивистский случай нетривиально, т.к. возникает необходимость перехода от евклидовой метрики с мнимым временем к метрике Минковского с реальным временем. Принцип неопределенности в одной из форм записывается следующим образом.

$$\Delta x_1 \Delta p_1 \geq \hbar / 2$$

В трехмерном случае вместо Δx_1 - норма вектора перемещения $(x_1^2 + x_2^2 + x_3^2)^{1/2}$. Другая форма записи принципа неопределенности – соотношение Мандельштама-Тамма: $\Delta E \Delta t \geq \hbar / 2$. Она появляется

потому, что между энергией и импульсом в классике есть связь: $E = \frac{p^2}{2m}$. Но в СТО и ОТО этой связи

нет, время и координата, энергия и импульс – самостоятельные компоненты.

Существуют модели, в которых время выводится из квантовой запутанности. Можно попытаться соединить евклидово расстояние и принцип неопределенности: $ds^2 = g_{ik} dx^i dx^k \pm l_{Pl}^2$, где l_{Pl} –

планковская («элементарная») длина. Аналогично $ds^2 = g_{ik} dx^i dx^k \pm \hbar / \Delta p$.

Однако такой вид интервала нековариантен. Можно записать принцип неопределенности следующим образом: $\Delta p_k \Delta x^k \geq \hbar/2 + \hbar/2 = \hbar$. Или

$$g_{ik} \Delta p^i \Delta x^k \geq \hbar \quad (1)$$

где p – 4-импульс. Получается, что квантовые флуктуации порождают некую затравочную метрику. (По версии Хартла – Хокинга сначала есть только пространство и нет времени.) Но в этом случае метрика – евклидова. Для пространства Минковского уравнение не имеет ясной интерпретации:

$$g_{ik} \Delta p^i \Delta x^k \geq 0 \quad (2)$$

Планковская Вселенная

Постулируется, что при охлаждении горячей Вселенной в пред-инфляционный период Вселенная была наполнена квантами полей GUT (например, в модели GUT Джорджи – Глэшоу SU(5) поля с плотностью $\varepsilon_{vac} \approx 10^{74} \text{ эрг} / \text{см}^3$), т.е. не была пустой. После остывания Вселенной вакуум уже не был ложным, в нём начали образовываться пузырьки истинного вакуума размером $\sim 10^{-20}$ см, радиус которых увеличивался со скоростью света. Поскольку внутри вакуумные пузырьки пусты, их размеры увеличивались по экспоненциальному де-Ситтеровскому закону $R = R(0) \exp(\sqrt{\Lambda / 3} t)$. В конце инфляции размеры пузырьков составляли $10^{30} - 10^{38}$ м. Размеры видимой Вселенной 10^{26} м, если модель верна, Вселенная – один из таких пузырьков, образовавшаяся без «затравочных» полей GUT, оставшихся за ее пределами. Однако если перед инфляцией Вселенная охлаждалась, неясно, в какую форму переходила тепловая энергия. Во-вторых, если размер пузырька на 4 – 12 порядков больше радиуса видимой Вселенной, то и масса ее должна быть больше на 12 – 36 порядков. (Линде указывает и другие размеры - $l \approx 10^{10^{12}}$ [1]). В то же время, в планковскую эпоху, предшествующую инфляции, постулируется наличие обычной сверхплотной массы.

Планковский радиус $r_{планк} = \sqrt{\hbar G / c^3} = 1,6 \cdot 10^{-35}$ м, температура 10^{32} К, плотность $5,1 \cdot 10^{96} \text{ кг} / \text{м}^3$,

$m = \rho V = 4\pi\rho r^3 / 3$, масса $m_{pl} = 2,176 \cdot 10^{-8}$. Радиус Шварцшильда $r_g = 2Gm / c^2$, $G = 6,67 \cdot 10^{-11}$, c — скорость света в вакууме. Начальные размеры Вселенной объявляются планковскими. Для планковской массы радиус Шварцшильда $r_g^{pl} = 3,23 \cdot 10^{-35}$. Следовательно, планковская Вселенная – черная дыра.

Следовательно, из состояния сингулярности Большой взрыв произойти не мог.

В [2] утверждается, что подстановка просуммированной по всем полям плотности энергии Казимира $\varepsilon = -Aa^{-4}$ ($A > 0$) в правую часть уравнений Эйнштейна позволяет получить несингулярную космологическую модель инфляционного типа. Это не корректно. Коэффициент A характеризует тип поля и геометрию объема, в случае шара плотность вакуума для ряда полей

$$\rho \sim (0,03 \div 0,3) \hbar / 4\pi r^4 c$$

В современную эпоху энергия Казимира на 17-18 порядков меньше плотности космологического вакуума. В планковских масштабах плотность вакуума безмассового скалярного поля $\sim (-10^{94})$, электромагнитного поля $\sim 10^{95}$, что существенно меньше планковской плотности $\rho_{pl} = 5,1 \cdot 10^{96}$.

Утверждают, что черная дыра в планквнутренневской Вселенной не возникала потому, что гравитационная энергия и масса в сумме равны нулю. Но это утверждение противоречит самому процессу возникновения черных дыр при сжатии массы большей критической под действием

гравитации. С другой стороны, объяснение возникновения массы вселенной в виду роста отрицательной гравитационной энергии наталкивается на то возражение, что в таком случае при расширении Вселенной после инфляции ее масса обязана расти, т.е. плотность обычного вещества не должна падать. Именно в виду этих обстоятельств Ли Смолин выдвинул теорию возникновения Вселенной от взрыва сингулярности внутри чёрной дыры. Однако природа этого взрыва осталась необъясненной.

Рождение вселенной из квантовой флуктуации

Квантовые флуктуации суть флуктуации вакуума, когда возникают и исчезают пары виртуальных частиц и античастиц. В построениях Ли Смолина и Эдварда Трайона само рождение Вселенной является квантовой флуктуацией. Логично представить флуктуацию в виде пары частиц Маркова «максимон-антимаксимон» и предположить, что каждая частица порождает метрику. Из $\Delta t \Delta E \sim \hbar/2$ и соотношения $E = mc^2$ определяется масса максимона, тождественная массе планковской Вселенной

$$m = \sqrt{\hbar c / G}$$

Проблема космологической постоянной (вакуумная катастрофа), формулируемая через планковское состояние, отпадает. Максимон распадается подобно резонансам за время

$$\tau \sim \hbar / mc^2 \approx 0,5 \times 10^{-43} \text{ с,}$$

что соответствует планковскому времени. Таким образом, планковское время приобретает смысл времени распада максимона. Аннигиляции рожденной пары «максимон – антимаксимон» не происходит, вследствие CP-симметрии они имеют противоположно направленные импульсы, возникают две Вселенные, с материей и антиматерией, решается проблема отсутствия антиматерии. Таким образом, предположение, что Вселенная возникает путем квантового распада и дальнейшего туннелирования, испарения черной дыры, приобретает основание.

Если планковская Вселенная не частица, и ее температура порядка 10^{32} К, возникают минимум две проблемы. Согласно теории Большого взрыва температура Вселенной падает со временем по закону

$$T \approx (c/k) \sqrt{m_{Pl} \hbar / t} \approx 3 \times 10^{14} t^{-1/2}$$

Вычисленная по этой формуле современная температура Вселенной $4,5 \times 10^5$ К явно не соответствует наблюдаемым данным. Кроме того, если Вселенная – не элементарная частица, то она вращается с угловой скоростью порядка 10^{43} , возникает ускорение, что эквивалентно гравитации черной дыры, имел бы место эффект Фулинга-Унру. Температура излучения Унру выражается той же формулой, что и температура излучения Хокинга, но зависит не от поверхностной гравитации, а от ускорения системы отсчета a : $T = \hbar a / 2\pi k c \approx 4 \cdot 10^{-21} \cdot a$ с соответствующими размерностями. Поскольку $a = \omega^2 r$, то

$$T = \hbar \omega^2 r / 2\pi k c$$

Если подставить планковский радиус $r_{\text{планк}} = \sqrt{\hbar G / c^3} = 1,6 \cdot 10^{-35}$ м, то температура, вызываемая эффектом Унру $T \approx 10^{30}$ К. Однако эпоха инфляции начинается в момент времени 10^{-42} сек. В предшествующий момент времени Большого взрыва 10^{-43} сек температура была близка к планковской. Подставляя размер Вселенной в момент Большого взрыва $r = 10^{-5}$ м и планковскую $\omega = 10^{43} \text{ с}^{-1}$, получим $T \approx 10^{60}$ К, что явно не соответствует температуре планковской эпохи 10^{32} К. В любом случае эффект Унру при такой гигантской угловой скорости вызвал бы множественное рождение частиц, что до неузнаваемости изменило бы историю Вселенной.

Если же планковская Вселенная представляет собой элементарную частицу, то указанные проблемы снимаются, поскольку для одной частицы невозможно ввести температуру, отсутствуют усреднение по скоростям, статистический ансамбль, понятие равновесия и т.д.

Поскольку планковский радиус меньше радиуса Шварцшильда, логично предположить, что метрика планковской Вселенной есть метрика Шварцшильда. При этом, в отличие от метрики Шварцшильда, где $r > r_s$ (радиус Шварцшильда), сигнатура метрического тензора меняется, подпись метрики меняется на евклидову: (+, +, +, +), у временной и пространственных координат одинаковые знаки.

Евклидово пространство получается из пространства Минковского при повороте Вика в комплексной плоскости на $\pi/2$, если время – мнимое, $t \rightarrow it$.

Можно было бы предположить, что расширение планковской Вселенной происходило аналогично распаду черной дыры с зарядом больше критического. В метрике Рейснера-Нордстрёма при превышении критического заряда, когда гравитационное притяжение не может компенсировать собственное электрическое отталкивание материи, сигнатура метрики не меняется.

Поскольку Вселенная не заряжена, можно предположить, что распад планковской Вселенной как черной дыры происходил вследствие ее вращения. В метрике Керра в данном случае происходит изменение сигнатуры, как и требует обобщение принципа неопределенности.

Ограничение для момента импульса черной дыры массы m : $L \leq Gm^2 / c$. Или в классическом приближении для шара:

$$2mR^2\omega/5 \leq Gm^2 / c \quad (3)$$

Отсюда максимальная угловая скорость планковской Вселенной $\omega = 4,72 \times 10^{43} \text{ с}^{-1}$.

Но если планковская Вселенная – это элементарная частица, то ее угловой момент не обязан соответствовать механическому вращению. Напр., спин электрона не есть вращение электрона вокруг своей оси, в противном случае скорость на его поверхности была бы больше скорости света. Обобщение понятия спина, изотопический спин, означает наличие пространства состояний, никак не связанных с перемещением частицы в обычном пространстве, но есть движение в изоспиновом пространстве.

Аналогично для описания сильных взаимодействий введены «внутренние» цветовое пространство (red, green, blue) и пространство ароматов (по оси изоспина, u, d, s, c, b, t). Т.е. в метрику Керра вместо момента импульса нужно подставить значение спина возникшего вследствие принципа неопределенности максимона. Поскольку максимон не может быть ни скалярной частицей, ни фермионом, его спин, так же, как и спин Z^0 -бозона, равен единице.

Тем не менее, спину соответствует и магнитный момент, и угловой момент частицы

$$L = s\hbar \quad (4)$$

Оказывается, что ограничение для момента импульса планковской Вселенной как черной дыры, измеренное в (4) в единицах \hbar , с достаточной степенью точности равно единице, но чуть меньше: 0,9985. Следовательно, максимон с $s = 1$ разрушает планковскую Вселенную как черную дыру.

Очевидно, что максимон в виду своей огромной массы не распадается по типу распада Z -бозона (на кварк и антикварк, образующих мезон, распадающийся на лептон и антилептон). Внутри сферы Шварцшильда тоже происходит изменение подписи метрики, временная и пространственная координата меняются местами. Однако физический смысл евклидовой метрики – не промежуточное состояние, соответствующее распаду черной дыры. Вакуумная флуктуация возможна лишь в первичном пространстве-времени, где существует вакуум, которое могло быть евклидовым пространством.

Релятивистское обобщение принципа неопределенности

Возникает вопрос, насколько правомерно применять классические формулы (2), (3) и (4), когда речь идет о релятивистском обобщении принципа неопределенности. Следующий вопрос: как выглядит релятивистский момент импульса и релятивистская энергия вращения?

Для момента импульса нет канонической пары, поэтому в коммутаторе фигурируют компоненты момента импульса, соответственно, $\Delta L_x \Delta L_y / L_z \geq \hbar / 2$, Однако можно представить соотношение неопределенности для квантовых величин $\Delta L \Delta \varphi \geq \hbar / 2$. В полуклассическом приближении

$$\Delta \omega \Delta \varphi = \Delta \dot{\varphi} \Delta \varphi \geq \hbar / 2J$$

Т.е. $\dot{\varphi}$ играет роль импульса. Обобщение принципа неопределенности выглядит следующим образом:

$$\Delta E_0 \Delta t + (J / 2) \Delta \dot{\varphi} \Delta \varphi + \Delta p \Delta x \geq \hbar$$

Здесь нет коэффициента 3/2, т.к. момент импульса входит в энергию вращения. Но при этом каждый из трех компонент в отдельности может быть меньше $\hbar / 2$.

Отметим также, что для планковской Вселенной объем не определен, т.к. $\Delta p = 0$ и

$$\Delta E_0 \Delta t + (J / 2) \Delta \dot{\varphi} \Delta \varphi \geq \hbar$$

Однако данное уравнение не может претендовать на релятивистское обобщение принципа неопределенности, т.к. вращение в уравнении не представлено в релятивистской форме.

В [3] релятивистский момент импульса выглядит следующим образом

$$L = \frac{3\pi r c^4 R}{2\omega^3} - \frac{\pi r c^2 R^3}{2\omega} - \frac{3\pi r c^5 (1 - \omega^2 R^2 / c^2)(1 + \omega^2 R^2 / 3c^2)}{4\omega^4} \ln \frac{1 + \omega R / c}{1 - \omega R / c} \quad (5)$$

Если вращающееся тело нельзя представить как волчок, если его вращение – хаотично, то выпишем сначала релятивистский лагранжиан свободной релятивистской частицы: $L = -mc^2 / \gamma$, где

$\gamma = 1 / \sqrt{1 - v^2 / c^2}$ - фактор Лоренца, v – скорость частицы, c - скорость света.

Отсюда импульс $p = \partial L / \partial v = mv\gamma$ и дифференциал момента импульса $dL = \gamma dmrv$.

Момент импульса для тонкого слоя шара

$$dL = \vec{r} \times d\vec{p} = \vec{r} \times (dm \cdot \vec{v}) \cdot \gamma = 4\pi r \omega r^5 dr / \sqrt{1 - \omega^2 r^2 / c^2} = \frac{2\pi r c^6 x^2}{\omega^5 \sqrt{1 - x}}$$

Интегрирование по сферическим слоям при подстановке $u = 1 - x$ дает

$$|L| = \frac{2\pi\rho c^6 \gamma}{15\omega^5} \{ [6(\omega R/c)^2 + 8\omega R/c + 16] - 16/15 \}$$

Теперь определим релятивистскую энергию вращения. Для примера возьмем шар, выделим в нем элемент массы, в цилиндрических координатах $dm = \rho dV = \rho r dr d\varphi dz$; $dE = \gamma dm = \rho \gamma r d\varphi dr dz$. После интегрирования по dr и $d\varphi$

$$dE_i = \frac{2\pi\rho c^4}{\omega^2} (1 - \sqrt{1 - \omega^2 r_i^2 / c^2}) dz$$

Интегрируем по dz , учитывая, что $r_i^2 = R^2 - z^2$, используя подстановку $x = \tan(y)$ и сравнивая с (5):

$$E = \frac{3}{4} L\omega \quad (6)$$

Отсюда видим, что связь между энергией и моментом импульса в релятивистском случае имеет иной, чем в классике, характер, но близкий к нему. Следовательно, можно записать $J\omega \propto |\vec{s}|$. То есть, наши оценки энергии максимона верны. Отсюда следует, что

$$\Delta E_0 \Delta t + \mu \Delta s \Delta \varphi = (\Delta E_0 + \mu \omega \Delta s) \Delta t = (\Delta E_0 + \eta s \Delta s) \Delta t \geq \hbar$$

E_0 – энергия покоя. Обратим внимание, что (5) не имеет не релятивистского предела. Дело в том, что данный расчет оценочный, только для того, чтобы увидеть порядок связи, расчет не учитывает то, что вращающееся тело находится в неинерциальной системе отсчета.

Возникновение метрики Минковского

После порождения максимным вакуумом флуктуации в виде максимона и после распада максимона начинается формирование пространственно-временной структуры, возникающей вследствие «противоборства» вещества (бытия) и его основного состояния, вакуума (небытия): массы свертывают пространство, плотность вакуума расширяет Вселенную.

Поле Хиггса стало составной частью Стандартной модели в теории Вайнберга-Глэшоу-Салама, объединяющей электромагнитные и слабые взаимодействия, объяснив массы переносчиков слабого взаимодействия, W и Z бозонов, спонтанным нарушением симметрии.

Если механизм возникновения масс благодаря полю Хиггса имеет место, можно также предположить, что, подобно тому, как массы искривляют пространство Минковского, вакуум поля Хиггса, возможно, формирует пустое пространство Минковского, как своего рода основное состояние [4].

В ОТО пространство Минковского есть тривиальное решение уравнений Эйнштейна для вакуума, т.е. пространства с нулевым тензором энергии-импульса и нулевым лямбда-членом.

В естественной системе координат тензор кривизны Риччи равен:

$$R_{ij} = R_{ikj} = \partial_k \Gamma_{ji}^k - \partial_j \Gamma_{ki}^k + \Gamma_{km}^k \Gamma_{ji}^m - \Gamma_{jm}^k \Gamma_{ki}^m$$

где $\Gamma_{kl}^i = g^{im} (\partial_l g_{mk} + \partial_k g_{ml} - \partial_m g_{kl}) / 2$. Соответственно $T_{\alpha\beta} = 0$; $R_{\alpha\beta} = \Lambda g_{\alpha\beta}$. То есть, при $\Lambda \neq 0$ кривизна не равна нулю, пространство Минковского получается лишь при равенстве нулю тензора Риччи.

Астрономические исследования сверхновых типа IA дают положительное значение для $\Lambda = 10^{-53} \text{ м}^{-2}$. Однако космологический член не может быть постоянной величиной, т.к. меняется плотность вакуума электромагнитного и других полей, плотность которых зависит от радиуса Вселенной.

Имеется иное вакуумное решение уравнений Эйнштейна. Каким образом вакуум, имея массу, не искривляет пространство Минковского? Ответ очевиден: вакуум и порождает пространство Минковского. Подобно тому, как массы искривляют пространство Минковского, космологический вакуум, возможно, формирует пустое пространство Минковского, как своего рода основное состояние.

Тогда в уравнении Эйнштейна $R_{\mu\nu} - Rg_{\mu\nu} / 2 - \Lambda g_{\mu\nu} = 8\pi G T_{\mu\nu}$ нужно положить равным нулю не тензор энергии-импульса, как в модели де Ситтера, а рассмотреть нулевую кривизну. При наличии вакуума

$$\Lambda g_{\mu\nu} = -8\pi G T_{\mu\nu},$$

Отсюда компоненты тензора энергии-импульса $p_{vac} = -\rho_{vac} = -\Lambda / 8\pi G$, и компоненты метрического тензора пропорциональны компонентам метрики пустого пространства Минковского.

То есть, теперь уже наоборот, при $\Lambda \neq 0$ возникает пространство Минковского, космологическая постоянная уже не может быть связана с кривизной пространства. То есть: пространство Минковского есть решение не только с нулевым ТЭИ, но и с ненулевым ТЭИ.

В стадии лямбда доминирования уравнение состояния вакуума известно, для обычного вещества Вселенной не подходят модели ни идеальной жидкости, ни газа, но вполне адекватна модель пыли с нулевым давлением. В таком случае полный тензор энергии импульса для Вселенной имеет вид:

$$T_{ik} = (\Lambda / 8\pi G) \text{diag}(-1 + 8\pi G(\rho_{sub} + \rho_{gf}) / \Lambda, 1, 1, 1)$$

где ρ_{sub}, ρ_{gf} - плотность вещества (субстанции) и плотность вакуума всех квантовых полей, кроме космологического. В таком случае вакуум Хиггса является космологическим. В этом случае проблема расширения Вселенной из черной дыры могла бы решаться за счет наличия давления вакуума. Однако хиггсовский вакуум в сверхмалом объеме не обладает существенным давлением. Во-вторых, он не может быть космологическим вакуумом, его плотность зависит от объема. Космологическим вакуумом может быть вакуум скалярного поля с нарушением энергодоминантности [5]. После возникновения частиц появляется кривизна, которую эти частицы формируют (она не дается заранее, извне), с ростом числа частиц кривизна увеличивается, и реализуется сценарий де Ситтера. Вопрос, поставленный Э. Шмутцером, о материальном источнике пустого пространства-времени, находит разрешение. Утверждается, что происходит увеличение масштаба, что не есть движение частиц со скоростями выше скорости света. Но увеличение масштаба должно приводить к увеличению масштаба измерительной линейки, таким образом, заметить расширение Вселенной невозможно. С другой стороны, увеличение масштаба означает увеличение и размеров частиц, планет, звезд, чего не происходит при расширении Вселенной. В интерпретации масштабного фактора, согласно которой вакуум порождает пространство-время, парадокс снимается, не частицы движутся, а пространство возникает. Вселенная не расширяется, а порождается. Тогда вакуумный тензор энергии импульса примет вид:

$$T_{ik} = (\Lambda / 8\pi G) \text{diag}(-1, 1, 1, 1) \quad (7)$$

Метрика Фридмана записывается следующим образом: $ds^2 = dt^2 - a(t)^2 dl^2$, где dl^2 — элемент длины в пространстве постоянной кривизны, $a(t)$ — масштабный фактор.

В сферических координатах $dl^2 = dr^2 / (1 - kr^2) + r^2(d\theta^2 + \sin^2 \theta d\varphi^2)$, соответственно,

$$ds^2 = dt^2 - a(t)^2 [dr^2 / (1 - kr^2) + r^2(d\theta^2 + \sin^2 \theta d\varphi^2)] = dt^2 - a(t)(dr^2 / (1 - kr^2) + r^2 d\Omega^2)$$

Из этой метрики следует, что пространство «растягивается», соответственно, должны растягиваться и межатомные расстояния, и эффективные сечения частиц.

Утверждается, что закон Хаббла, метрика пространства-времени и уравнения Гильберта-Эйнштейна-Фридмана имеют отношение лишь к крупномасштабной структуре Вселенной на расстояниях порядка мегапарсек. Однако закон Хаббла действует и на расстояниях меньших, нежели расстояние между Млечным путем и туманностью Андромеды.

Для пустого пространства, которое порождается вакуумом, интервал нужно записать и в другом виде:

$$ds^2 = dt^2 - [d(r+a)]^2 + r^2 d\Omega^2$$

Соответственно, положительные массы замедляют время и сворачивают пространство.

Закон Хаббла в таком подходе получается непосредственно из метрики.

Допустим, дополнительный объем длины Δr генерируется за единицу времени вакуумом объемом длины r_0 , тогда

$$n\Delta r / \Delta t = nr_0 = r \square v; v = Hr$$

Например, $g_{22} = (r+a)^2 \cos^2 \varphi \cos^2 \vartheta + (r+a)^2 \sin^2 \varphi \cos^2 \vartheta + (r+a)^2 \sin^2 \vartheta = (r+a)^2$

Тогда в сферических координатах трехмерный метрический тензор запишется в виде:

$$g_{mn} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & (r+a)^2 & 0 \\ 0 & 0 & r^2 \sin^2 \vartheta \end{pmatrix}$$

Таким образом, существует не одна, а две модели пространства Минковского: статическое (абсолютное) и динамическое (с расширением трехмерного пространства).

Заключение

Отметим, что определение планковского Δt через мировые константы совпадает с определением через принцип неопределенности, определение Δp - не совпадает.

Отметим также, что планковская плотность не обязана быть порядка 10^{94} , т.к. планковский размер не определен. Тогда снимается противоречие, что r планковской Вселенной меньше r Шварцшильда.

Отметим также, что должна существовать константа, связывающая квантовую механику и ОТО, микромир и Вселенную. Такой константой может быть только космологическая постоянная.

Космологическая постоянная мала, т.е. должен существовать коэффициент, делающий ее малой. А именно: $\Lambda g_{ik} \rightarrow \Lambda_{ik} \rightarrow \xi \Lambda_{ik} = 10^{-29} \Lambda_{ik}$. В этом случае не нужны поворот Вика в метрике или евклидово пространство, или к мнимые время и энергия: $\Delta p_i \Delta x^i \rightarrow \xi \Lambda_i^i g^{ik} \Delta p_i \Delta x_k = \Delta E \Delta t + \Delta \vec{p} \Delta \vec{x} \geq \hbar$

Литература

1. Linde, A. D. (1990a) Particle Physics and Inflationary Cosmology, Harwood Academic Publishers, Chur, Switzerland.
2. Starobinsky A. A. Phys. Lett. A New Type of Isotropic Cosmological Models Without Singularity. 1980. V. 91. №1, P. 99.
3. Федос. Г. О зависимости релятивистского момента импульса однородного шара от радиуса и скорости углового вращения. International Frontier Science Letters, Vol. 15. P. 9-14 (2020).
4. Ихлов Б. Л. Хиггсовский вакуум в теории гравитации. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. М.: МГУ, 1988. 13 с.
5. Ихлов Б. Л. Квантовый космологический вакуум. С. 130-135. Материалы V Российской конференции «Основания фундаментальной физики и математики», М., РУДН, 11-12 декабря 2021 г.