

## О РАЗРУШЕНИИ КВАНТОВОЙ КОГЕРЕНТНОСТИ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ТОПОЛОГИИ В КВАНТОВОЙ ГРАВИТАЦИИ

*Г.В.Лаврелашвили, В.А.Рубаков, П.Г.Тиняков*

Квантовая когерентность может нарушаться при отщеплении от плоского пространства замкнутых Вселенных планковского размера. Наблюдение  $K^0 - \bar{K}^0$  осцилляций накладывает ограничение на амплитуду таких процессов, которая должна быть сильно подавлена по сравнению с размерной оценкой  $M_{pl}^4$ .

Возможность изменения топологии трехмерного пространства за счет эффектов квантовой гравитации обсуждалась целым рядом авторов, начиная с Уилера<sup>1</sup>. В этой статье мы хотим обратить внимание на то, что изменение топологии пространства может приводить к заметному нарушению квантовой когерентности. Мы получим ограничение на скорость процессов с изменением топологии, следующее из существования осцилляций в системе  $K^0$ -мезонов.

Разрушение квантовой когерентности возникает в процессах, при которых от большой Вселенной  $\Sigma_1$  отщепляется замкнутая Вселенная  $\Sigma_3$  (рисунок), так что конечное трехмерное многообразие имеет несколько компонент связности ( $\Sigma_2$  и  $\Sigma_3$  на рисунке). Из размерных соображений можно ожидать, что размер компоненты  $\Sigma_3$  — порядка планковского. Отметим, что отщепление замкнутой Вселенной не противоречит законам сохранения энергии, импульса, электрического заряда и т.д. Причины потери когерентности проиллюстрированы на рисунке. Состояние частицы (скажем, электрона)  $|\Psi_{in}\rangle = |p, e^-\rangle$  превращается в результате образования маленькой Вселенной в состояние

$$|\Psi_{out}\rangle = A \{ |p, e^-\rangle \otimes |0\rangle + \epsilon_p |p, e^-\rangle \otimes |e^+e^-\rangle \}, \quad (1)$$

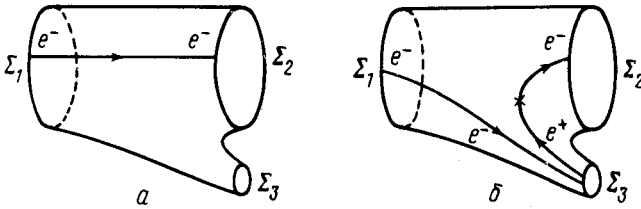
где  $\epsilon_p$  — амплитуда образования  $e^+e^-$ -пары,  $A$  — амплитуда топологического перехода. С точки зрения наблюдателя, живущего в большой Вселенной и не имеющего информации о состо-

янии малой Вселенной, чистое состояние  $\int dp f(p) |p, e^-\rangle$  превращается в смешанное, описываемое матрицей плотности

$$\rho_{out} = \int dp dq f^*(p) f(q) \left\{ 1 - \frac{1}{2} (\epsilon_p - \epsilon_q)^2 A^2 \right\} |q\rangle \langle p|, \quad (2)$$

$$1 - \text{Sp}(\rho_{out}^2) = \int dp dq |f(p)|^2 |f(q)|^2 (\epsilon_p - \epsilon_q)^2 A^2 > 0.$$

Из последнего выражения видно, что количественной мерой нарушения когерентности является величина  $|\epsilon_p - \epsilon_q| A$ . Отметим, что возможность разрушения квантовой когерентности рассматривалась Хокингом<sup>2</sup> в связи с испарением черных дыр, а также Пейджем<sup>3</sup> и Хокингом<sup>4</sup> при обсуждении волновой функции Вселенной<sup>1)</sup>.



Мы предполагаем, что изменение топологии представляет собой туннельный процесс, который может быть описан в рамках евклидова формализма. Таким образом, многообразие, изображенное на рисунке, обладает евклидовой сигнатурой<sup>2)</sup>. Вычисление амплитуды  $\epsilon_p$  эквивалентно задаче о рождении частиц во время туннельного процесса. Поведение полей материи описывается в этом случае евклидовым аналогом уравнения Шредингера<sup>7</sup>. Для  $O(4)$ -инвариантной модельной метрики решение этого уравнения в теориях массивного скалярного и спинорного полей с одночастичным состоянием в качестве начального данного приводит к формуле (1) с

$$\epsilon_p = \frac{1}{4\pi} l^2 \frac{T}{\omega_p} (1 + O(m^2 l^2)) \quad (\text{спин } 0), \quad (3a)$$

$$\epsilon_p = \frac{1}{4\pi} l^3 \frac{mT}{\omega_p} (1 + O(m^2 l^2)) \quad (\text{спин } 1/2). \quad (3b)$$

Здесь  $\omega_p = \sqrt{m^2 + p^2}$ ,  $l$  – размер маленькой Вселенной,  $T$  – нормировочное время (скорость интересующих нас процессов пропорциональна  $\epsilon_p/T$ ).

Разрушение квантовой когерентности должно приводить к исчезновению осцилляций в системе нейтральных  $K$ -мезонов. Характерное время потери когерентности  $\tau$  можно оценить с помощью (2), (3б): используя для оценки  $l \sim M_{pl}^{-1}$ , имеем  $\tau^{-1} \sim A M_{pl}^{-3} \left( \frac{1}{m_L} - \frac{1}{m_S} \right) m_q$ ,

где  $m_L$  и  $m_S$  – массы  $K_L$  и  $K_S$  – мезонов,  $m_q$  – масса легкого кварка. Из размерных соображений для амплитуды топологического перехода в единице объема в единицу времени

<sup>1)</sup> Настоящая работа была доложена на 4 Международном семинаре "Квантовая гравитация" (Москва, май 1987 г). На этом же семинаре аналогичный механизм разрушения когерентности был предложен в докладе Хокинга<sup>5</sup>, который рассмотрел случай безмассовых частиц. Наши результаты для безмассовых частиц согласуются с результатами Хокинга. Однако в случае фермионов массы частиц играют принципиальную роль (см. ниже), поэтому наш основной вывод о наличии эффекта и оценка его величины в случае фермионов качественно отличаются от выводов Хокинга.

<sup>2)</sup> Альтернативный подход, использующий многообразия с лоренцевой сигнатурой, сталкивается с серьезными трудностями<sup>6</sup>.

имеем  $A = a M_{pl}^4$ , где  $a$  — безразмерный коэффициент. Сравнивая  $\tau$  с временем осцилляций  $\Delta t_{\text{осц}} \sim 10^{-10}$  с, получаем оценку  $a \lesssim 10^{-17}$ . Таким образом, амплитуды переходов с изменением топологии сильно подавлены по сравнению с естественной величиной  $M_{pl}^4$ . Этот результат может служить указанием на то, что гравитационное взаимодействие не становится сильным даже на планковских масштабах.

В заключение отметим, что процессы с изменением пространственной топологии могут приводить к другим интересным эффектам, таким как появление нелокальности и несохранение глобальных квантовых чисел (барионного, лептонного числа и т.д.).

Авторы благодарны В.А.Березину, А.Ю.Вайнтробу, Д.В.Дерягину, А.Ю.Игнатьеву, В.А.Кузьмину, В.А.Матвееву, А.Н.Тавхелидзе и И.И.Ткачеву за многочисленные обсуждения и критику.

#### Литература

1. *Wheeler J.A.* Ann. of Phys., 1957, 2, 604.
2. *Hawking S.W.* Comm. Math. Phys., 1982, 87, 395.
3. *Page D.N.* Phys. Rev., 1986, D34, 2267.
4. *Hawking S.W.* Quantum Cosmology, DAMTP preprint, 1986, to appear in "300 Years of Gravity", Cambridge University Press.
5. *Hawking S.W.* In "Proceedings of the Fourth Seminar on Quantum Gravity", to be published.
6. *De Witt B.* In "Proceedings of the Third Seminar on Quantum Gravity", eds. M.A.Markov, V.A.Berezin, V.P.Frolov, World Scientific, 1985, p. 103.
7. *Rubakov V.A.* Nucl. Phys., 1984, B245, 481.