

DOI: 10.22363/2224-7580-2025-1-137-139

EDN: YOOXMS

СВОЙСТВА ГРАВИТАЦИОННО-СВЯЗАННЫХ КВАНТОВЫХ СИСТЕМ

М.Л. Фильченков, Ю.П. Лаптев

*Институт гравитации и космологии
Российского университета дружбы народов
Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6*

Аннотация. Рассмотрены гравитационно-связанные системы в искривлённом пространстве-времени. Объектами, подлежащими квантованию, являются гравитомы, ранняя Вселенная, сторонние поля, геометрия в целом и само пространство-время.

Ключевые слова: квантовая гравитация, квантовая механика, квантовая теория поля, квантовая геометродинамика, петлевая квантовая гравитация, гравитомы, мини-дыры и лептокварки

Введение

Гравитационно-связанные системы в искривлённом пространстве-времени рассматриваются при квантовании движения микрочастиц (квантовая механика) и сторонних полей (квантовая теория поля), геометрии в целом (квантовая геометродинамика) и самого пространства времени (петлевая квантовая гравитация). Этим уровням квантования соответствуют схожие соотношения, например, для энергетических уровней гравитомов и атома Леметра, а также масс мини-дыр, входящих в состав гравитомов, мини-дыр и лептокварков в ранней Вселенной [1].

Объекты и процессы, соответствующие различным уровням квантования

Рассмотрим гравитомы, то есть квантовые системы, состоящие из первичной чёрной дыры и захваченной ею заряженной микрочастицы. Существование гравитатома оказывается возможным, если микрочастица находится вне горизонта мини-дыры и обладает энергией, по абсолютной величине превышающей энергию излучения Хокинга от мини-дыры.

Если взаимодействием электростатического поля заряженной частицы по сравнению с гравитационным взаимодействием её массы можно пренебречь, то гравитатом имеет водородоподобный спектр:

$$E = -\frac{mc^2\alpha_g^2}{2n^2},$$

где $\alpha_g = \frac{GMm}{\hbar c}$, M – масса мини-дыры, m – масса микрочастицы.

Многокомпонентная квантовая модель ранней Вселенной описывается в рамках квантовой геометродинамики в виде атома Леметра, который имеет осцилляторный спектр для сред с преобладанием космических струн:

$$E = m_{pl}c^2\sqrt{k-B_2}(p+1/2),$$

где $m_{pl} = \sqrt{\frac{\hbar c}{G}}$ – планковская масса, B_2 – вклад струн на горизонте де Ситтера.

Рождение Вселенной интерпретируется как туннелирование с коэффициентом

$$D \sim \exp\left\{-\frac{2(k-B_2)^{3/2}}{3B_0}\left(\frac{r_0}{l_{pl}}\right)^2\right\},$$

где $k = 0, \pm 1$ – параметр космологической модели, B_0 – вклад деситтеровского вакуума на горизонте де Ситтера r_0 , l_{pl} – планковская длина планкеона, туннелирующего через потенциальный барьер в деситтеровский вакуум, который является неустойчивым в силу мнимости скорости звука в нём, что приводит к рождению лептокварков с энергией покоя порядка энергии Великого объединения. Лептокварки распадаются на кварки и лептоны. Три кварка образуют нуклоны, число которых порядка числа Эддингтона.

В гравитатоме массы мини-дыр и захватываемых ими частиц связаны соотношениями

$$Mt = \alpha_g m_{pl}^2.$$

В ранней Вселенной имеем аналогичное соотношение:

$$Mt_x = \frac{1}{2} m_{pl}^2,$$

где m_x – масса лептокварка. Лептокварки рождаются на комптоновской длине, равной гравитационному радиусу мини-дыры.

Общие свойства гравитационно-связанных квантовых систем

Общие свойства гравитационно-связанных систем обусловлены тем, что в одном и том же квантовом объекте или процессе присутствуют сразу несколько уровней квантования. Возможно, это является проявлением общих закономерностей следующего этапа решения проблемы квантовой гравитации.

В частности, уже удалось объяснить эффект Хокинга в рамках теории суперструн и петлевой квантовой гравитации. Струнная квантовая космология с помощью дилатонных полей моделирует идеальную жидкость с баротропным уравнением состояния, флуктуации которой задаются пространственно-временной пеной, описываемой петлевой квантовой космологией [2].

Заключение

Подводя итог, следует отметить, что, хотя проблема квантования гравитации остаётся нерешённой в общем случае, удаётся решить целый ряд частных задач, касающихся квантования гравитационно-связанных систем. Кроме того, некоторые подходы квантовой теории поля в искривлённом пространстве-времени хорошо разработаны. Особенно это касается эффектов квантования сторонних полей в заданном гравитационном поле, в том числе поляризации вакуума, рождения частиц и спонтанного нарушения симметрии [3].

Литература

1. Фильченков М. Л., Лантев Ю. П. Квантовая гравитация: от микромира к мегамиру. Москва : УРСС, 2024. 304 с.
2. Mielczarek J., Szydlowski M. Universe from vacuum in loop-string cosmology // J. Cosmol., Astroparticle Phys. 2008. Vol. 0808. P. 014.
3. Гриб А. А., Мамаев С. Г., Мостепаненко В. М. Квантовые эффекты в интенсивных внешних полях. Москва : Атомиздат, 1980. С. 296.

PROPERTIES OF GRAVITATIONALLY BOUND QUANTUM SYSTEMS

M.L. Fil'chenkov, Yu.P. Laptev

*Institute of Gravity and Cosmology, RUDN University
6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russian Federation*

Abstract. Gravitationally bound systems in curved space-time are considered. The objects subject to quantization are graviatoms, the early Universe, external fields, geometry in general, and space-time itself.

Keywords: quantum gravity, quantum mechanics, quantum field theory, quantum geometrodynamics, loop quantum gravity, graviatoms, miniholes, and leptiquarks