

УДК 535.3

DOI: 10.17223/00213411/62/4/62

Н.Н. КОНОБЕЕВА, М.Б. БЕЛОНЕНКО

ZITTERBEWEGUNG ВБЛИЗИ ЧЕТЫРЕХМЕРНОЙ ЧЕРНОЙ ДЫРЫ ЛИФШИЦА*

Рассмотрен Zitterbewegung (ZB) эффект в пространстве-времени, описываемом метрикой четырехмерной черной дыры Лифшица. Черная дыра Лифшица бралась с динамической экспонентой $z = 2$ и плоской топологией в поперечном сечении. Zitterbewegung был рассчитан на основе уравнения Дирака в кривом пространстве времени. Получено и проанализировано аналитическое выражение для тока.

Ключевые слова: черная дыра Лифшица, дрожащее движение, картина Шредингера.

Введение

Интерес к черным дырам Лифшица возник, прежде всего, с точки зрения ADS/CFT-соответствия и последующих приложений в теории твердого тела и квантовой хромодинамики [1–3]. В этом случае возникает анизотропная масштабная инвариантность, такая, что $t \rightarrow \lambda^z t$, $x \rightarrow \lambda x$, где $z \neq 1$ и z есть относительная масштабная размерность пространства и времени. Подобного рода зависимости часто возникают, например, в задачах о сильно коррелированных электронах. Все это делает изучение черных дыр Лифшица актуальным с точки зрения приложений [4–6]. Отметим, что, несмотря на повышенный интерес к таким объектам прежде всего с точки зрения ADS/CFT-соответствия, ряд квантовых эффектов остался нерассмотренным. Прежде всего, это относится к эффекту Zitterbewegung (дрожащее движение) в пространстве-времени черной дыры Лифшица.

Эффект ZB [7] рассматривался сначала как специфический недостаток теории Дирака. Это связано с тем, что собственные значения оператора скорости в теории Дирака могут принимать значения только $\pm c$ (c – скорость света). Указанное следствие теории было разрешено Шредингером, который в работе [8] указал на дрожащее движение и на то, что после его усреднения скорость электрона становится меньше c . На данный момент считается, что ZB может наблюдаться в любой системе, в описании которой оператор скорости не коммутирует с гамильтонианом. Далее данный эффект был обобщен и на теорию Клейна – Гордона [9]. В настоящее время, после открытия графена, для описания которого в длинноволновом приближении применяется уравнение Дирака, вопрос о наблюдении ZB перешел в прикладную плоскость [10].

Вместе с тем при рассмотрении ZB-эффекта в кривом пространстве-времени возникает ряд технических трудностей при традиционном подходе. Эти трудности связаны с незамкнутостью системы операторных уравнений в случае кривого пространства. Более удобна в этом случае картина Шредингера, связанная с эволюцией волновых функций. Данный подход был предложен в [11] и развивается в настоящей работе.

1. Основные уравнения

Метрика черной дыры Лифшица имеет вид [12]

$$ds^2 = -\frac{r^{2z}}{l^{2z}} dt^2 + \frac{l^2}{r^2} dr^2 + \frac{r^2}{l^2} d\mathbf{x}^2, \quad (1)$$

где \mathbf{x}^2 описывает $(d-2)$ -пространственный вектор; d – размерность пространства; l – длина пространства в геометрии.

Заметим, что граница пространства-времени находится при $\rho = 0$ (причем $\rho = 1/r$), тогда метрика (1) примет вид

$$ds^2 = -\frac{r^2}{l^2} f(r) dt^2 + \frac{1}{f(r)} dr^2 + r^2 d\mathbf{x}^2, \quad (2)$$

$$f(r) = \frac{r^2}{l^2} - 0.5.$$

* Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (госзадание № 2.852.2017/4.6).

Уважаемые читатели!

Доступ к полнотекстовой версии журнала
«Известия высших учебных заведений. Физика»
осуществляется на платформе
Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU
на платной основе:

<https://elibrary.ru/contents.asp?titleid=7725>