Квантовый предел принципа инерции

Куюков Виталий Петрович

vitalik.kayukov@mail.ru
SFU, Russia

В данной работе изучается принцип инерции Ньютона - Галилея в рамках полуклассической квантовой гравитации.

Многие эффекты квантовой теории не учитывают гравитационное взаимодействие. Поэтому и нет возможности определять границы между общей квантовой гравитации и квантовой механики. Здесь дается попытка выяснить учет гравитации при свободном движении квантовой частицы. Это приводит к интересному выводу о свойстве инерционного движения. В общем, имеется определенная связь между гравитацией и квантовым движением частицы. Для начала рассмотрим свободную движущуюся частицу с учетом собственного гравитационного поля

$$\Delta\varphi = 4\pi G\rho$$

Пусть плотность материи определяется для квантовой частицы как произведение плотности вероятности на гамильтониан.

$$\rho\, c^2 = \psi^* H\psi = \psi^* i\hbar\frac{\partial\psi}{\partial t}$$

Тогда уравнение для собственного гравитационного поля квантовой частицы будет

$$\Delta\varphi = \frac{4\pi G}{c^2}\psi^* i\hbar\frac{\partial\psi}{\partial t}$$

Волновая функция свободной частицы в показательной форме имеет вид

$$\begin{aligned}\psi &= A\cdot e^{-i\varphi} = e^{-(i\varphi-\theta)}\\ \theta &= \ln A\end{aligned}$$

Тогда уравнение гравитационного поля для данных величин и функции имеет вид

$$\Delta\varphi = \frac{4\pi G}{c^2}\psi^*(\hbar\frac{\partial\varphi}{\partial t} + i\hbar\frac{\partial\theta}{\partial t})\psi$$

Или

$$\Delta\varphi = \frac{4\pi G}{c^2}(mc^2|\psi|^2 + \frac{i\hbar}{2}\frac{\partial|\psi|^2}{\partial t})$$

Зная уравнение непрерывности для плотности вероятности

$$\begin{aligned}&\frac{\partial|\psi|^2}{\partial t} + divJ = 0\\ &J = V|\psi|^2 = \frac{i\hbar}{2m}(\psi^*\nabla\psi - \psi\nabla\psi^*)\end{aligned}$$

Получается следующее уравнение с учетом потока плотности вероятности

$$\Delta\varphi = \frac{4\pi G}{c^2}(mc^2|\psi|^2 - \frac{i\hbar}{2}divJ)$$

Решение уравнения в виде градиента гравитационного потенциала определяет свободное ускорение

$$-\nabla\varphi = g$$

То есть общее решение последнего уравнения имеет вид

$$g = g_0 + i2\pi\frac{G\hbar}{c^2}J$$

Как видно, появляется небольшой вклад в ускорение свободного падения собственного гравитационного поля частицы.

$$g = g_0 + i2\pi\frac{G\hbar}{c^2}V|\psi|^2 = g_0 - \pi\frac{G\hbar^2}{mc^2}(\psi^*\nabla\psi - \psi\nabla\psi^*)$$

Этот вклад в свободное ускорение пропорционален потоку плотности волновой функции

$$\Delta g = 2\pi\frac{G\hbar}{c^2}V|\psi|^2 = \pi\frac{iG\hbar^2}{mc^2}(\psi^*\nabla\psi - \psi\nabla\psi^*)$$

В силу принципа эквивалентности этот вклад в собственное гравитационное поле частицы, эквивалентно ускорению самой частицы относительно инерциальной системы (наблюдатель).

$$\Delta g = -a_0$$

Иначе говоря, свободная квантовая частица имеет ускорение торможения в вакууме при свободном движении по инерции.

$$a_0 = -2\pi\frac{G\hbar}{c^2}V|\psi|^2 = -\pi\frac{iG\hbar^2}{mc^2}(\psi^*\nabla\psi - \psi\nabla\psi^*)$$

Ускорение торможения свободной частицы в вакууме пропорционально потоку плотности вероятности волновой функции.
Из за этого может возникнуть сила, которая замедляет свободное инерционное движение квантовой частицы в вакууме.

$$F_0 = ma_0$$

Возникает потеря энергии квантовой частицы при данном трении через вакуум

$$dA = F_0 dr = -2\pi\frac{G\hbar}{c^2}mV|\psi|^2 dr$$

Потеря энергии имеет радиационный характер, и любая квантовая частицы будет излучать тепловой спектр. Как видно, учет собственной гравитации приводит к тому, что свободная движущаяся квантовая частица имеет некоторое трение через вакуум .