

# Осцилляторы вакуума и эффект Унру.

Куюков Виталий П.

Россия, Сибирский Федеральный Университет

Email: [vitalik.kayukov@mail.ru](mailto:vitalik.kayukov@mail.ru)

**В данной статье применяется упрощенный расчет эффекта Унру на основе природы квантовых колебаниях осцилляторов вакуума. Для получения формулы температуры Унру используется понятия о переходах энергетического уровня квантового осциллятора под воздействием инерциальных и гравитационных полей.**

Рассмотрим неинерциальную систему отсчета, которая движется с постоянным ускорением

$$a = \text{const.}$$

Согласно квантовой теории поля вакуум можно представить как совокупность осцилляторов полей. Классическое уравнение колебания гармонического осциллятора имеет вид:

$$\frac{d^2 x}{dt^2} + \omega^2 x = 0$$

Ускорение осциллятора в неинерциальной системе отсчета определяется как вынужденное возмущение в виде напряженности поля инерции:

$$a = -g$$

Тогда уравнение осциллятора в неинерциальной системе имеет вид:

$$g - \omega^2 x = 0$$

Согласно общей теории относительности существует в неинерциальной системе отсчета горизонт событий на максимальном расстоянии от точки наблюдения:

$$L = \frac{c^2}{2g}$$

С другой стороны амплитуда колебания осциллятора с энергией  $\Delta E$  будет ограничена сверху принципом неопределенности Гейзенберга:

$$x_{max} = \frac{c h}{\Delta E}$$

Так как ускорение неинерциальной системы постоянно, то получаем минимальную или нулевую частоту колебаний квантового осциллятора:

$$g - \omega_0^2 x_{max} = 0$$
$$\omega_0^2 = \frac{g}{x_{max}} = \frac{g \Delta E}{c h}$$

Согласно квантовой теории поля виртуальный осциллятор существует некоторое время, если неопределенность энергия определена как:

$$\Delta E = \hbar \omega_0$$

Отсюда получаем нулевую частоту колебания квантового осциллятора вакуума в неинерциальной системе отсчета:

$$\omega_0^2 = \frac{g \Delta E}{c h} = \frac{g \hbar \omega_0}{c h} = \frac{g \omega_0}{2\pi c}$$
$$\omega_0 = \frac{g}{2\pi c}$$

В квантовой теории поля энергия квантовых полей в вакууме имеет вид:

$$E = \hbar \omega_0 \left( \frac{1}{2} + N \right)$$

В неинерциальной системе отсчета:

$$E = \frac{\hbar g}{2\pi c} \left( \frac{1}{2} + N \right)$$

При переходе из состояния N в состояние N-1 вакуум в неинерциальной системе излучает фотон с энергией:

$$\Delta E_{N \rightarrow N-1} = E_N - E_{N-1} = \frac{\hbar g}{2\pi c}$$

Отсюда получаем температуру излучения:

$$\Delta E_{N \rightarrow N-1} = k T = \frac{\hbar g}{2\pi c}$$

$$T = \frac{\hbar g}{2\pi k c}$$

Как видно, концепция квантовых осцилляторов вакуума в неинерциальной системе дает адекватный вывод эффекта Унру, а также энергию нулевых колебаний.

Плотность энергии вакуума в неинерциальной системе будет иметь вид:

$$T = \frac{E}{V} = \frac{\hbar g}{2\pi c} \frac{N}{V}$$

$$T = \frac{\hbar g n}{2\pi c}$$

Где n – количество квантовых состояний вакуума в единице объема.

*Литература:*

[1]. В.Фролов и И.Новиков. Физика черных дыр, Москва «Наука» 1986 г.

[2]. П.Рамон. Теория поля. Современный вводный курс, Москва «Мир» 1984 г.