

ВОЗНИКНОВЕНИЕ ИНВЕРСНОЙ ЗАСЕЛЕННОСТИ В КВАНТОВОЙ СИСТЕМЕ,  
РАВНОМЕРНО ДВИЖУЩЕЙСЯ ПО ОКРУЖНОСТИ В СРЕДЕ

В.Е. Курьян, А.В. Пироженко, В.П. Фролов

*Рассмотрены квантовые эффекты, обусловленные неравномерным движением системы в среде. Показано, что в результате взаимодействия равномерно движущегося по окружности детектора с нулевыми колебаниями скалярного или электромагнитного поля может возникать инверсное распределение детектора по уровням энергии.*

При движении нейтральных поляризуемых тел их взаимодействие с нулевыми колебаниями может привести к появлению квантового излучения. Это излучение создается поляризационными зарядами, наводимыми в телах вакуумными флуктуациями полей и его можно ожидать при тех же условиях, при которых излучают обычные заряды.

В результате состояние системы (тела) изменяется. Такую систему принято называть детектором. В качестве детектора может рассматриваться любая нейтральная система, обладающая внутренними степенями свободы, состояние которой при взаимодействии с квантованными полями изменяется. При этом стационарное распределение детектора по уровням энергии (если оно существует) не зависит от конкретных деталей устройства детектора, а определяется его траекторией и свойствами внешнего поля.

Имеется большое число работ, в которых анализируется поведение детекторов, движущихся по различным траекториям в вакууме (например, обзоры /1, 2/). В частности, рассматривалось возбуждение детектора, движущегося в вакууме по окружности /3/. Этот процесс можно экспериментально исследовать на ускорителях /4, 5/. Хотя конечные состояния детекторов зависят от уравнений движения и вида поля, с которым они взаимодействуют, во всех известных нам случаях движения в вакууме инверсная заселенность не возникает.

Поведение детектора в среде может существенно отличаться от его поведения в вакууме. Это связано с тем, что для среды существует выделенная система отсчета, в которой частицы среды покоятся, а также с тем, что среда может быть неоднородной, и скорость движения детектора может превосходить фазовую скорость света в среде.

Если детектор движется в среде с ускорением, можно ожидать, что в определенных условиях появится инверсная заселенность по уровням энергии. Цель настоящей статьи состоит в том, чтобы показать, что состояния с инверсной заселенностью действительно возникают при движении детектора в среде по окружности с постоянной скоростью, большей скорости света в этой среде, и указать условия, при которых это происходит.

Пусть в однородной изотропной среде с показателем преломления  $n(\omega)$  движется по окружности радиуса  $R$  с постоянной угловой скоростью  $\Omega$  детектор малых размеров  $l \ll R$ . Уравнения мировой линии такого детектора в системе покоя среды записываются в виде

$$x^\mu(\tau) = (\gamma\tau, R \cos(\gamma\Omega\tau), R \sin(\gamma\Omega\tau), 0),$$

где  $\gamma = (1 - \Omega^2 R^2)^{-1/2}$ ,  $\tau$  — собственное время. Вероятность перехода с уровня  $i$  на уровень  $f$  за единицу собственного времени  $\tau$  в первом порядке теории возмущений имеет вид

$$\omega_{i \rightarrow f} = \alpha^2 |D_{fi}|^2 F(E_f - E_i),$$

где  $a$  — константа взаимодействия;  $D_{fi}$  — величина, определенная устройством детектора. Если размер детектора  $l \ll \Delta E^{-1}$ , где  $\Delta E$  — характерное расстояние между уровнями детектора, то для скалярного безмассового поля в среде, описываемого уравнением

$$\left(\hat{\epsilon} \frac{\partial^2}{\partial t^2} - \Delta\right) \varphi = 0, \quad \epsilon(\omega) = n^2(\omega),$$

спектральная функция отклика  $F(E)$  дается выражением

$$F(E) = \int_{-\infty}^{+\infty} d\tau e^{-iE\tau} \langle \varphi [x^\mu(\tau)] \varphi [x^\mu(0)] \rangle.$$

Проводя анализ свойств спектральной функции  $F(E)$  для рассматриваемой модели, можно показать /8/, что разность  $\Delta F = F(E) - F(-E)$ , характеризующая разность вероятностей прямых и обратных переходов детектора при  $1 < v n < 4,6$ , записывается в виде

$$\Delta F = \frac{E}{2\pi\gamma^2 v(1 - v^2 n^2)} - \frac{n\Omega}{4\pi\gamma} \frac{\sin(2E\tilde{x}/\gamma\Omega)}{\tilde{x}(1 - v n \cos \tilde{x})},$$

где  $\tilde{x}$  — положительный корень уравнения  $x = v n \sin x$ ,  $E > 0$ . Величина  $\Delta F$  становится положительной, в частности, если выполняются условия:  $2,3 < v n < 4,6$  (при  $\pi < 2E\tilde{x}/\gamma\Omega < 2\pi$ ) или  $3,8 < v n < 4,6$  (при  $3\pi < 2E\tilde{x}/\gamma\Omega < 4\pi$ ). Это означает, что возникает инверсная заселенность.

В рассмотренной модели инверсная заселенность выражена относительно слабо:  $\Delta F/F \sim E \ll 1$ . Тем не менее, факт появления инверсной заселенности может оказаться существенным при исследовании поведения частиц, движущихся в среде со сверхсветовой скоростью.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гинзбург В. Л., Фролов В. П. УФН, 153, 633 (1987).
2. Takagi S. Progr. Theor. Phys. Suppl., 88, 1 (1987).
3. Letaw J. R., Pfautsch J. D. Phys. Rev., D22, 1345 (1980).
4. Bell J. S., Leinaas J. M. Nucl. Phys., B212, 131 (1980).
5. Bell J. S., Leinaas J. M. Preprint CERN-TH 4468/86 Geneva, 1986.
6. Курьян В. Е., Пироженко А. В., Фролов В. П. Препринт ФИАН № 142, М., 1988.

поступила в редакцию 21 июля 1988 г.