

ДИНАМИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ КАЗИМИРА, УПРАВЛЯЕМЫЙ МОДЕЛЬЮ РАБИ

Муринов Д.К. (Университет ИТМО)

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, профессор Иорш И.

(Университет ИТМО)

Введение. Модель Раби является одной из простейших моделей взаимодействия фотонного поля резонатора с двухуровневой (ДУ) системой. В данной работе мы считали данное взаимодействие сильным, что не позволяло пользоваться удобным приближением вращающейся волны и моделью Джейнса-Камингса. Было получено, что с изменением константы взаимодействия, среднее число фотонов на основном состоянии модели Раби увеличивалось. Это привело к идее того, что если сделать систему открытой и неадиабатически поменять константу взаимодействия, то виртуальные фотоны превратятся в реальные и вылетят во внешний резервуар.

Понятие динамического эффекта Казимира в названии работы звучит не случайно. Изначально идея этого эффекта была предложена Муром [1] в 1970 году. Им рассматривалась модель из двух бесконечных идеально проводящих зеркал, которые служили резонатором с абсолютным вакуумом внутри. Внутри такого резонатора всегда существует вакуумная фотонная мода. Расстояние между этими зеркалами меняли со скоростью, сравнимой со скоростью света, вследствие чего вакуумная мода не успевала быстро перестроиться и из вакуума рождались виртуальные фотоны. В 2011 году ученые наблюдали экспериментально динамический эффект Казимира [2].

Эффект, которого мы хотим добиться в нашей работе идейно очень похож на эффект Казимира, хоть и рассматриваемая нами модель отличается от оригинальной. Изменение константы взаимодействия поля резонатора с двухуровневой системой может быть интерпретировано, как изменение расстояния между зеркалами, а следствие в виде рождения реальных фотонов из виртуального вакуумного состояния такое же.

Основная часть. Был проведен численный анализ модели Раби: с помощью перехода от операторов рождения и уничтожения в координатное представление, была получена задача на нахождение собственных значений системы дифференциальных уравнений. Переходя к конечно-разностному аналогу производных, численно был получен энергетический спектр модели Раби в зависимости от константы взаимодействия, который в точности совпал со спектром, который был получен в известных статьях, таких как [3].

Был проведен анализ открытой системы, где исследуемой системой являлся резонатор с ДУ системой, а с наружным резервуаром наша система могла обмениваться лишь фотонными модами. При переходе к открытой системе необходимо перейти от волновых функций в формализм матрицы плотности. Было записано основное состояние модели Раби с помощью матрицы плотности. Также был введен input-output формализм для фотонных операторов рождения и уничтожения.

Далее, была рассмотрена неунитарная эволюция этой матрицы плотности на гамильтониане свободных ДУ системы и фотонного поля резонатора. Это соответствует тому, что константа взаимодействия была мгновенно изменена до нуля. Для математического описания этой эволюции было использовано уравнение Линдблада. Его точное решение было получено аналитически для любого начального условия.

Далее, был рассмотрен спектр вылетающих в резервуар фотонов. Для этого был посчитан фурье-образ от корреляционной функции числа фотонов вне резонатора. Для подсчета корреляционной функции была использована квантовая регрессионная теорема.

Выводы. Было получено, что среднее число виртуальных фотонов на основном состоянии модели Раби возрастает с увеличением константы взаимодействия ДУ системы с фотонными модами резонатора. При мгновенном изменении этой константы взаимодействия до нуля,

виртуальным фотонам больше некуда деваться, кроме как покидать систему, вылетая в наружный резервуар фотонов. При этом, вылетающие наружу фотоны имеют спектр с максимумом на частоте, равной частоте резонаторной фотонной моды. Этот спектр затухает со временем до нуля.

В нашей системе был получен аналог динамического эффекта Казимира: при изменении константы взаимодействия из вакуумного состояния сильно связанных ДУ системы и фотонного поля в наружный резервуар вылетали реальные фотоны.

Список использованных источников:

1. Moore G. T. Quantum theory of the electromagnetic field in a variable-length one-dimensional cavity //Journal of Mathematical Physics. – 1970. – Т. 11. – №. 9. – С. 2679-2691.
2. Wilson C. M. et al. Observation of the dynamical Casimir effect in a superconducting circuit //nature. – 2011. – Т. 479. – №. 7373. – С. 376-379.
3. Braak D. Integrability of the Rabi model //Physical Review Letters. – 2011. – Т. 107. – №. 10. – С. 100401.