Параметрическое приближение с точки зрения теории открытых квантовых систем

А.Ю. Карасев1, А. Е. Теретёнков2

1МГУ им. М.В. Ломоносова, физический факультет

2Математический институт имени В. А. Стеклова РАН

Параметрическое приближение, или приближение постоянной амплитуды, широко используется для мод электромагнитного поля с высокой интенсивностью, и находит множество применений. Его можно рассматривать как «классическое» приближение квантового поля [1]. Однако если рассматривать параметрическое приближение просто как замену бозонных операторов рождения и уничтожения фиксированными c-числами, то при этом полностью игнорируются все квантовые эффекты, включая и такие классические эффекты, как истощение накачки. Что еще более важно, отсутствует ясный метод для систематического получения поправок к параметрическому приближению, которые бы учитывали данные эффекты.

Мы рассмотрели параметрическое приближение как задачу теории открытых квантовых систем [2], в которой резервуар находится приблизительно в когерентном состоянии. Нас будет интересовать простейшая нетривиальная система — модель Джейнса-Каммингса. Точнее говоря, для учёта необратимого истощения внешнего электромагнитного поля нами будет рассмотрена диссипативная модель Джейнса-Каммингса [3]. Если начальные состояния выбраны таким образом, что заселено лишь небольшое число нижних фоковских состояний бозонной моды, то такая задача может быть решена явно. Более того, спектр такой модели можно получить точно [4]. Однако если представляют интерес динамические процессы, при которых заселено много фоковских состояний, известные подходы приводят к бесконечной иерархии связанных уравнений. Таким образом, даже для этой хорошо изученной модели оказывается затруднительным напрямую работать в параметрическом режиме. Также стоит отметить, что методы унитарной теории возмущений, учитывающие обратимые эффекты истощения накачки [5], не могут быть напрямую применены в данном случае.

Мы развили способ вычисления поправок к динамике двухуровневой системы в произвольном порядке теории возмущении, расширили результаты для случаев состояний электромагнитной моды, представимых с помощью функции квазираспределения Глаубера-Сударшана. Мы рассмотрели влияние диссипации поля лазера на спектр (триплет) Моллоу и записали корректное решение уравнения, учитывающее вклад от динамики на малых временах.

Работа выполнена при поддержке Фонда развития теоретической физики и математики «БАЗИС», грант № 24-2-1-48-1.

Литература

1. *R. Graham and M. H¨ohnerbach, Two-state system coupled to a boson mode: Quantum dynamics and classical approximations, Z. Phys. B 57, 233–248 (1984).*
2. *Бройер Х. П., Петруччионе Ф. Теория открытых систем. – М. Ижевск: Ин-т компьютерных исследований, 2010.*
3. *S. Sachdev, Atom in a damped cavity, Phys. Rev. A 29, 2627 (1984).*
4. *J. M. Torres, Closed-form solution of lindblad master equations without gain, Phys. Rev. A 89, 052133 (2014).*
5. *W. Xing and T. C. Ralph, Pump depletion in optical parametric amplification, Phys. Rev. A 107, 023712 (2023).*