

**РАЗЛОЖЕНИЕ ШМИДТА ДЛЯ АССИМЕТРИЧНЫХ БИФОТОННЫХ СОСТОЯНИЙ
В ПЕРВОМ ПОРЯДКЕ ТЕОРИИ ВОЗМУЩЕНИЙ****Гусельников М.С. (ИТМО)****Научный руководитель – кандидат физико-математических наук Козубов А.В.
(ИТМО)**

Введение. Бифотонные состояния генерируются в результате процесса спонтанного параметрического рассеяния. Такие состояния имеют большое количество практических применений, в частности они используются в квантовых оптических гироскопах, которые активно разрабатываются в последнее время в связи с возросшим интересом к квантовой сенсорике. Недавние исследования показали, что спектр бифотонных состояний играет ключевую роль в их квантовой динамике [1,2]. В частности, было продемонстрировано, что только при асимметричном спектре бифотонное состояние может демонстрировать эффект антигруппировки. В то же время, необходимым условием для наблюдения эффекта антигруппировки является наличие между фотонами квантовой запутанности. В связи с этим установление функциональной связи между параметрами асимметричного бифотонного спектра и степенью запутанности представляет собой важную задачу, которая остается неразрешенной. В настоящей работе для одного из экспериментально реализуемых типов асимметричного бифотонного спектра в первом порядке теорий возмущений найдены собственные моды и собственные значения Шмидта. Этот результат позволяет установить функциональную связь между числом Шмидта, которое является количественной мерой запутанности, и вероятностью антигруппировки бифотонного состояния.

Основная часть. Спектральная функция бифотонного состояния в общем виде представима в виде произведения однофотонных спектральных функций на экспоненту, зависящую от частот обоих фотонов, которая позволяет учесть наличие запутанности между ними. В работе показано, что такая функция сама по себе никогда не может быть антисимметричной, тем не менее она может обладать свойством «скрытой» антисимметрии, которое при наличии запутанности приводит к эффекту антигруппировки. Под свойством «скрытой» антисимметрии подразумевается антисимметричность произведения функции двух переменных на дельта-функцию. Показано, что таким свойством обладает спектр, представляющий собой произведение бифотонного спектра стандартного СПР состояния на гармоническую функцию одной переменной.

Количественно оценить степень запутанности квантового состояния позволяет метод разложения Шмидта [3], который для бифотонного состояния сводится к нахождению собственных ортонормированных функций и собственных значений бифотонной спектральной функции. Число Шмидта, определяемое как обратная сумма четвертой степени собственных значений Шмидта, является количественной мерой запутанности. В работе показано, что собственными модами СПР бифотона являются функции Эрмита. Установить аналитический вид мод Шмидта бифотонной спектральной функции, содержащей гармоническую функцию, затруднительно. Однако, считая гармоническую функцию возмущением стандартного бифотонного спектра можно найти моды Шмидта такого состояния в первом порядке теории возмущений. Полученные таким образом аналитические результаты были сравнены с результатами численных расчетов.

Выводы. Полученное в первом порядке теории возмущений число Шмидта согласуется с численными расчетами при большой степени запутанности (число Шмидта более 5 единиц) бифотонного состояния. При малой степени запутанности (число Шмидта менее 5 единиц) первого порядка теории возмущений становится недостаточно для приемлимой аппроксимации реального числа Шмидта. Таким образом, полученные результаты позволяют

анализировать зависимость эффекта антигруппировки от степени квантовой запутанности для состояний, характеризующихся числом Шмидта не меньшим пяти единиц.

Список использованных источников:

1. Wang K. Quantum theory of two-photon wavepacket interference in a beamsplitter //Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics. – 2006. – Т. 39. – №. 18. – С. R293.
2. Cromb M. et al. Mechanical rotation modifies the manifestation of photon entanglement //Physical Review Research. – 2023. – Т. 5. – №. 2. – С. L022005.
3. Fedorov M. V., Miklin N. I. Schmidt modes and entanglement //Contemporary Physics. – 2014. – Т. 55. – №. 2. – С. 94-109.