

**ДОЛГОЖИВУЩИЕ ОДНОФОТОННЫЕ СОСТОЯНИЯ  
В СИСТЕМАХ ИЗ НЕСКОЛЬКИХ АТОМОВ**

Мицай С.А. (ГБОУ СОШ № 45), Жоголев С.К. (ГБОУ Школа № 1589)

Научный руководитель – Волков И.А. (Университет ИТМО)

**Введение.** Квантовые интерфейсы, обеспечивающие хранение, обработку и передачу квантовой информации, находятся на сегодняшний день на переднем крае как фундаментальных научных исследований, так и высокотехнологичных приложений, реализующих квантовые коммуникации и вычисления. Однако на пути внедрения этих разработок стоят фундаментальные проблемы эффективности хранения квантовой информации и защиты квантовой информации от явления декогеренции. Данные проблемы могут быть решены посредством усиления взаимодействия одиночных фотонов с веществом с помощью коллективных субрадиационных мод в субволновых системах атомов [1, 2]. Данные состояния являются практически неизлучающими и поэтому имеют продолжительное время жизни, что позволяет решить перечисленные выше проблемы.

В настоящее время, подобные состояния активно изучаются в различных атомных системах, однако, в основном исследуются периодические конфигурации, содержащие большое число атомов, что усложняет реализуемость такого подхода на практике и в эксперименте. Системы из нескольких атомов (больше трех) же исследованы недостаточно в силу нетривиальности поиска оптимального дизайна системы, обеспечивающего существование субрадиационных состояний для экспериментально достижимых расстояний.

**Основная часть.**

В данной работе исследуются долгоживущие (субрадиационные) однофотонные состояния в одномерных и двумерных системах из нескольких одинаковых атомов, описываемых дипольными моментами перехода. Как нами показано, такие состояния описываются собственными модами, в которых происходит деструктивная интерференция излучения отдельных диполей.

Рассматриваемые нами системы состоят из двухуровневых атомов, имеющих нормальные к плоскости структуры дипольные моменты. Диполь-дипольное взаимодействие атомов описывается гамильтонианом, содержащим соответствующие компоненты диадной функции Грина, характеризующие как «ближнее», так и «дальнее» поля [3]. Численно решая задачу на собственные значения гамильтониана взаимодействия, мы получаем распределения дипольных моментов собственных мод и соответствующие им комплекснозначные собственные частоты. Мнимая часть собственной частоты характеризует скорость излучения энергии данной моды в свободное пространство и обратно пропорциональна времени жизни данного однофотонного состояния. Таким образом, мы заинтересованы в поиске конфигураций, поддерживающих существование собственных мод с минимально возможной мнимой частью собственной частоты.

Для изучения подобных состояний нами первоначально были исследованы одномерные и двумерные структуры различных геометрий, в том числе известных по актуальным научным работам: периодические цепочки [1, 2], правильные многоугольники с атомом в центре и без него [2].

Далее мы приступили к поиску состояний с минимальными энергетическими потерями для произвольных конфигураций атомов на плоскости. Так как посредством простого перебора параметров в требуемом диапазоне данная задача требует слишком большого вычислительного времени для числа атомов, большего трех, в данной работе мы использовали различные вычислительные оптимизационные алгоритмы.

Большинство таких алгоритмов требуют гладкости исследуемых функций на исследуемом промежутке, однако численный поиск собственных чисел в различных средах, таких как Python и Matlab, не обеспечивает не только гладкости вещественной и мнимой частей собственных чисел, но и однозначной их сортировки при изменении параметров системы. Для решения данной проблемы, нами была использована функция `eigenshuffle` [4], реализующая венгерский алгоритм [5] для сортировки собственных чисел гамильтониана. Однако из-за некорректной работы для нашей задачи

в современных версиях Python, данная функция была нами переработана, в результате чего нами была получена гладкая зависимость собственных чисел и векторов от геометрических параметров исследуемой системы.

В заключение, нами был реализован метод дифференциальной эволюции [6] для минимизации мнимой части собственной частоты системы для произвольных геометрических параметров системы. В результате нами были получены оптимальные конфигурации, обеспечивающие максимальное время жизни однофотонных состояний для фиксированного числа атомов и заданных геометрических ограничений системы. Кроме того, данные конфигурации являются устойчивыми по отношению к малым изменениям геометрии системы.

**Выводы.** В данной работе были найдены и исследованы долгоживущие однофотонные состояния, как для фиксированных конфигураций атомов (цепочка, правильные многоугольники), так и для произвольных геометрических параметров. Кроме того, был продемонстрирован вычислительный метод поиска геометрических конфигураций, обеспечивающих максимальное время жизни однофотонных состояний для фиксированного числа атомов и заданных геометрических ограничений системы.

#### **Список использованных источников:**

1. Asenjo-Garcia, A., et al. "Exponential Improvement in Photon Storage Fidelities Using Subradiance and "Selective Radiance" in Atomic Arrays." *Phys. Rev. X*, vol. 7, no. 3, 3 Aug. 2017, p. 031024.
2. Kornovan, D. F., et al. "Extremely subradiant states in a periodic one-dimensional atomic array." *Phys. Rev. A*, vol. 100, no. 6, 19 Dec. 2019, p. 063832.
3. L. Novotny and B. Hecht, *Principles of Nano-Optics* (Cambridge University Press, New York, 2006).
4. John D'Errico. Eigenshuffle, MATLAB Central File Exchange.
5. Yi Cao. Hungarian Algorithm for Linear Assignment Problems (V2.3) , MATLAB Central File Exchange.
6. Storn, Rainer & Price, Kenneth. (1995). Differential Evolution: A Simple and Efficient Adaptive Scheme for Global Optimization Over Continuous Spaces. *Journal of Global Optimization*.