

ЭВОЛЮЦИОННАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ДОЛГОЖИВУЩИХ СОСТОЯНИЙ В НИЗКОРАЗМЕРНЫХ СИСТЕМАХ АТОМОВ

Мицай С.А. (Университет ИТМО)

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

Введение: Квантовые интерфейсы играют ключевую роль в хранении, обработке и передаче квантовой информации, и сегодня они находятся на переднем крае как в научных исследованиях, так и в высокотехнологичных приложениях для квантовых коммуникаций и вычислений. Однако их внедрение затруднено проблемами эффективности хранения квантовой информации и защиты от декогеренции. Улучшение взаимодействия одиночных фотонов с веществом через коллективные субрадиационные моды в субволновых системах атомов может решить эти проблемы [1, 2], так как данные моды характеризуются низкой излучательной активностью и обеспечивают длительное время жизни квантовых состояний.

Основная часть: На данный момент активно изучаются различные атомные системы, в которых возможно образование указанных состояний. Однако, основное внимание уделяется периодическим конфигурациям с большим количеством атомов, что затрудняет их практическую реализацию и изучение в экспериментах. В то же время, системы с небольшим числом атомов (более трёх) до сих пор остаются недостаточно исследованными из-за нетривиальности поиска оптимального дизайна, который бы обеспечивал наличие субрадиационных состояний при экспериментально доступных расстояниях между атомами.

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

Рассматриваемые системы состоят из двухуровневых атомов, имеющих дипольные моменты, направленные по нормали к плоскости структуры. 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 показывает скорость излучения энергии системы в свободное пространство и обратно пропорциональна времени жизни данного однофотонного состояния. Таким образом, решаемая задача состоит в поиске конфигураций, поддерживающих существование собственных мод с минимально возможной мнимой частью собственной частоты.

В данной работе для поиска таких конфигураций на плоскости применяется метод дифференциальной эволюции [4, 5], основанный на идеях генетических алгоритмов. Целью метода является поиск минимума многопараметрической целевой функции. Для этого используется механизм естественного отбора: на каждом шаге решения, представляющие собой векторы, описывающие геометрию системы атомов, проходят через процедуру отбора лучших из них, скрещивания и мутации. Алгоритм является вероятностным, что не гарантирует правильности решения, но его важнейшие плюсы - высокая относительно перебора скорость и простота настройки.

Функция, значение которой алгоритм пытается минимизировать - темп эмиссии системы атомов с определённым заранее минимально разрешённым расстоянием между диполями. “Особи” (решения), которые участвуют в естественном отборе - векторы, элементы которых описывают координаты каждого атома на плоскости. С помощью такого метода можно сравнительно быстро найти долгоживущую конфигурацию, не прибегая к затратным по времени и вычислительным ресурсам переборным алгоритмам.

Выводы: Таким образом, были найдены оптимальные конфигурации атомов для различного их количества (до 10), в том числе с применением различных видов симметрии. Также были исследованы одномерные структуры атомов, выявлена оптимальная модуляция получающейся “цепочки” по дипольным моментам и расстояниям между соседними атомами.

Список использованной литературы:

1. Aseñjo-García A. et al. Exponential improvement in photon storage fidelities using subradiance and “selective radiance” in atomic arrays //Physical Review X. – 2017. – Т. 7. – №. 3. – С. 031024.
2. Kornovan D. F. et al. Extremely subradiant states in a periodic one-dimensional atomic array //Physical Review A. – 2019. – Т. 100. – №. 6. – С. 063832.
3. Novotny L., Hecht B. Principles of nano-optics. – Cambridge university press, 2012.
4. Storn R. Differential evolution-a simple and efficient adaptive scheme for global optimization over continuous spaces //Technical report, International Computer Science Institute. – 1995. – Т. 11.
5. Volkov I. et al. Non-radiative configurations of a few quantum emitters ensembles: Evolutionary optimization approach //Applied Physics Letters. – 2024. – Т. 124. – №. 8.

Мицай С.А. (автор)

Волков И.А. (научный руководитель)