

ПРОГРАММНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СУБ- И СУПЕРИЗЛУЧАТЕЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ АНСАМБЛЯ ЩЕЛОЧНЫХ АТОМОВ

Клишева А. Д.¹

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доцент Попов Е. Н.¹

¹Университет ИТМО

klishevaad@gmail.com

Введение

Коллективные эффекты, такие как супер- и субизлучение, проявляются в изменении скорости распада ансамбля атомов. В настоящее время активно изучаются свойства холодных и ультрахолодных атомных ансамблей. Особый интерес к ним вызван перспективой активного использования в задачах атомной стандартизации частоты и квантовой метрологии [1, 2]. Моделирование коллективного распада необходимо для понимания свойств таких ансамблей.

Щелочные металлы, в частности рубидий, обладают рядом особенностей, которые делают их удобными для наблюдения эффектов супер- и субизлучения.

Основная часть

В работе рассматривается задача моделирования распада для любой геометрической конфигурации квантовой системы, состоящей из фиксированного числа атомов Рубидия-87. Необходимо определить вероятности перехода системы в различные квантовые состояния.

Моделирование коллективного распада является вычислительно сложной задачей. Гильбертово пространство квантовых состояний ансамбля атомов является тензорным произведением квантовых состояний одиночного атома. Следовательно, при увеличении количества атомов в ансамбле происходит комбинаторный взрыв количества состояний квантовой системы.

Для ансамбля определенной размерности необходимо строить собственное аналитическое решение через решение уравнения Шрёдингера. При использовании метода, описанного в статье [3] для двух атомов изотопа рубидия 87 с 8 основными и 8 возбужденными состояниями решение сводится к системе линейных уравнений размерности 128 (рассматриваются только определённые состояния системы). С увеличением количества атомов количество уравнений экспоненциально растёт, поэтому для ансамблей большей размерности задача чрезвычайно ресурсоёмка.

Т.к. использование численных методов для полного решения задачи не представляется эффективным из-за проблемы комбинаторного взрыва, предлагается разработать архитектуру нейронной сети, которая на основе данных, полученных из смеси аналитических и численных расчётов для систем малой размерности (3, 4, 5) будет предсказывать вероятность перехода в заданное конечное состояние для ансамблей с большим количеством атомов. Использование нейронной сети способно решить проблему комбинаторного взрыва, потому что в отличие от численных методов она не требует построения гильбертова пространства состояний системы.

Выводы

Применение нейронных сетей в совокупности с численными методами является перспективным подходом. Конкретно в данной задаче это позволит преодолеть ограничения численного моделирования для ансамблей среднего размера, путём замены построения гильбертова пространства состояний системы на экстраполяцию на основе данных для малых систем.

Литература

1. L. V. Hau, Nature Photonics 2, 451 (2008).
2. Домнин Ю. С., Елкин Г. А., Новоселов А. В. Применение холодных атомов цезия в квантовых стандартах частоты // Квантовая электроника. 2004. 34. №12. С.1084-1095
3. Соколов И. М. Влияние сверхтонкой структуры атомных состояний на коллективные эффекты в квазимолекуле Rb₂ // ЖЭТФ. 2017. том 152. вып. 4(10). С. 650-665.