

**ЭЛЕКТРОУПРАВЛЯЕМАЯ БИСТАБИЛЬНОСТЬ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ В ПОВЕРХНОСТНЫХ ИОННЫХ ЛОВУШКАХ**

Соболева Е.В. (ИТМО), Рудый С.С. (ИТМО), Щербинин Д.П. (ИТМО)

Научный руководитель – к. ф.-м. н., доцент Иванов А.В. (ИТМО)

**Введение.** Область квантовых вычислений объединила в себе аспекты информатики, математики и физики для поиска решений сложных оптимизационных задач квадратичной оптимизации без ограничений QUBO (Quadratic Unconstrained Binary Optimization). Задачи вида QUBO – это еще один способ записать задачу модели Изинга, заключающуюся в нахождении основного состояния квантовой системы, которая описывается гамильтонианом этой системы [1]. Существует множество платформ для реализации квантовых вычислений [2]. Одной из таких оптических реализаций является когерентная машина Изинга (КМИ), в которой используется оптический параметрический осциллятор (ОПО) [3]. Задача Изинга сопоставляется с импульсами и взаимодействиями между ними. Результат задачи оценивается в терминах общей энергии, и состояние с минимальной энергией считается оптимальным решением.

Одной из ключевых особенностей физической платформы, необходимой для создания машины Изинга, является контролируемая бистабильность динамической системы. К такой системе, например, относится заряженная частица, локализованная в double-well ионной ловушке [4].

**Основная часть.** В настоящей работе предлагается пятиэлектродная double-well конфигурация поверхностной ионной ловушки. В модельной задаче в качестве локализуемого объекта исследования рассматривается ион  $\text{Ca}^+$ . Метод контроля и управления положением частицы в double-well потенциале заключается в модуляции параметра постоянного напряжения на управляющем электроде ловушки. Показано, что в зависимости от значения постоянного напряжения на управляющем электроде, возможно формирование одного, двух или трёх положений равновесия.

В работе рассматривается деформация эффективного потенциала в зависимости от изменения величины постоянного напряжения. Точки устойчивого равновесия могут быть определены численным решением задачи Коши для системы дифференциальных уравнений при начальных условиях, распределенных псевдослучайно. Наблюдение бистабильности в динамической системе происходит при попадании частицы в одну из двух потенциальных ям. Исследованы полученные положения устойчивого равновесия частицы, а также определено пороговое значение параметров, при которых наблюдается делокализация, и частица покидает рабочую область ловушки.

**Выводы.** Представлена численная модель электроуправляемой бистабильности заряженных частиц в поверхностных ионных ловушках. Показано, как меняются состояния динамической системы в зависимости от изменения напряжения на электродах ловушки. Предложенная динамическая система может использоваться как платформа для реализации машины Изинга.

**Список использованных источников:**

1. Lucas A. Ising formulations of many NP problems // Front. Phys. – Frontiers, – 2014. – V. 2. – P.1–14.
2. Nop G. N., Paudyal D., Smith J. D. H. Ytterbium ion trap quantum computing: The current state-of-the-art // AVS Quantum Science. – 2021. – V. 3. – №. 4.

3. Böhm F., Verschaffelt G., Van der Sande G. A poor man's coherent Ising machine based on opto-electronic feedback systems for solving optimization problems // Nat. Commun. 2019 10. – Nature Publishing Group, – 2019. – V. 10, № 1. – P.1–9. 314
4. Rybin V., Rudyi S., Rozhdestvensky Y. Nano-and microparticle Nonlinear Damping Identification in quadrupole trap //International Journal of Non-Linear Mechanics. – 2022. – V. 147. – P. 104227.