

УДК 53.05

**ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ  
КОЛЕБАНИЙ МИКРОЧАСТИЦ В ВЕРТИКАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЙ  
ЛОВУШКЕ В УСЛОВИЯХ ДИССИПАЦИИ**

**Гавенчук А.В. (ИТМО), Семынин М.С. (ИТМО), Рудый С.С. (ИТМО)**

**Научный руководитель – д.ф.-м.н., профессор Рождественский Ю.В. (ИТМО)**

**Введение.** В настоящее время существует большой интерес к исследованию различных микро и наночастиц, а также их ансамблей, с помощью электродинамических ловушек. Электродинамические ловушки являются универсальным инструментом для долговременного удержания заряженных частиц в ограниченной области пространства, вследствие чего они нашли широкое применение в масс-спектрометрии [1, 2] и при исследовании свойств одиночных частиц [3, 4]. Линейная электродинамическая квадрупольная ловушка с горизонтально ориентированными силовыми электродами является одной из наиболее распространенных конфигураций, использующихся во множестве различных исследований [5]. В линейных ионных ловушках заряженные частицы в радиальной плоскости, перпендикулярной силовым электродам, удерживаются при помощи радиочастотного поля, а вдоль оси ловушки – за счет взаимодействия с постоянным потенциалом на запирающих электродах. Такое строение квадрупольных ловушек обеспечивает эффективную инжекцию частиц [6]. Однако при горизонтальной ориентации линейных ловушек локализованные частицы, могут отклоняться от своего устойчивого положения вдоль вертикальной оси под действием гравитационных сил. Для предотвращения этого нежелательного эффекта можно использовать вертикальную линейную электродинамическую ловушку с одним запирающим электродом.

**Основная часть.** В настоящей работе рассматривается линейная электродинамическая ловушка с вертикальным расположением силовых электродов и одним запирающим электродом в нижней части конструкции. Наличие запирающего электрода снизу позволяет компенсировать действие силы тяжести на локализованные объекты. Преимуществами такой конфигурации являются: возможность инжекции частиц сразу вдоль оси ловушки, при этом осевое положение частицы будет регулироваться изменением постоянного напряжения на запирающем электроде, а также возможность пленения объектов в широком диапазоне отношений заряда к массе за счет влияния присутствующих в системе диссипативных сил. Неоднородное стационарное поле, создаваемое запирающим электродом, оказывает влияние на динамику частиц как в радиальной, так и в осевой плоскостях. При этом частота колебаний заряженных частиц в радиальной плоскости будет определяться физическими характеристиками объекта локализации, а также параметрами питания силовых электродов, а частота колебаний вдоль оси ловушки будет зависеть от напряжения на запирающем электроде и начальных условий инжекции. Совпадение частот в этих плоскостях может приводить к возникновению параметрического резонанса и дестабилизации динамики частицы внутри ловушки.

**Выводы.** В результате исследования было экспериментально зафиксировано возникновение параметрического резонанса в радиальных колебаниях частицы в системе с присутствием диссипативных сил, рассмотрены условия его возникновения. Обнаруженный эффект параметрического резонанса может позволить улучшить масс-селективные качества такой системы.

**Список использованных источников:**

1. Nolting D., Malek R., Makarov A. Ion traps in modern mass spectrometry // Mass spectrometry reviews. – 2019. – Т. 38. – №. 2. – С. 150–168.

2. Guo Q. et al. Recent developments of miniature ion trap mass spectrometers // Chinese Chemical Letters. – 2018. – T. 29. – №. 11. – C. 1578–1584.
3. Rybin V. et al. Novel nonlinear damping identification method: Simultaneous size, mass, charge and density measurements of a microparticle in quadrupole trap // Powder Technology. – 2023. – C. 118717.
4. Bell D. M. et al. Single CdSe/ZnS nanocrystals in an ion trap: charge and mass determination and photophysics evolution with changing mass, charge, and temperature // ACS nano. – 2014. – T. 8. – №. 3. – C. 2387–2398.
5. March R. E., Todd J. F. Quadrupole ion trap mass spectrometry. – John Wiley & Sons, 2005.
6. Douglas D. J., Frank A. J., Mao D. Linear ion traps in mass spectrometry // Mass spectrometry reviews. – 2005. – T. 24. – №. 1. – C. 1–29.