

НОВЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАРЯЖЕННЫХ МИКРОЧАСТИЦ В ЛИНЕЙНОЙ РАДИОЧАСТОТНОЙ ЛОВУШКЕ

Рыбин В. В. (Университет ИТМО)

Научный консультант – Костерной И. А. (Университет ИТМО)

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

В настоящей работе рассмотрена методика определения заряда, массы и размера заряженных микрочастиц, локализованных в радиочастотных ловушках в условии нелинейного трения. Показано, что формирование расширенных орбит для микрочастиц с характерным размером ~ 10 мкм обусловлено как свойствами демпфирующей среды и физическими параметрами ловушки, так и характеристиками локализованной микрочастицы, такими как масса, заряд, размер. Экспериментально установлена связь между физическими характеристиками захваченных частиц и формой расширенных орбит при постоянстве внешних условий локализации. В работе была произведена локализация заряженных спор *Clavadium clavatum* с последующей оценкой размера микрочастицы.

Введение.

На сегодняшний день радиочастотные ловушки позволяют осуществить долговременную локализацию относительно «больших» микрообъектов размерами порядка 10 нм \sim 100 мкм, таких как заряженные микрочастицы, аэрозоли, молекулярные ионы и даже биологические микроструктуры. При локализации в воздухе радиочастотные ловушки обеспечивают недеструктивное удержание заряженных микрообъектов в пространстве с возможностью манипулирования заряженными частицами, что часто необходимо для биологических объектов. В то же время динамика сложных структур существенно отличается от динамики одиночных ионов, в частности – проявляются эффекты нелинейного трения, и, как следствие, орбиты микрообъектов расширяются с удвоением периода колебаний, приобретая замкнутые симметричные формы. Эффект удвоения периода в радиочастотных ловушках наблюдался экспериментально в ряде работ, однако потенциальная область применения настоящего эффекта до сих пор остаётся неисследованной.

В работе предложен метод анализа расширенных орбит заряженных микрообъектов в поле радиочастотной ловушке, позволяющий произвести оценку заряда, массы, и морфологию локализованной частицы.

Основная часть.

Эффект возникновения расширенных орбит проявляется при локализации заряженных микрообъектов в среде и имеет точное обоснование. На практике, расширенные орбиты проявляются при локализации заряженных микрообъектов в условиях демпфирующей среды. Нелинейное трение, обуславливающее расширенные орбиты, связано с размером и скоростью заряженной микрочастицы. При малых напряженностях удерживающего электрического поля скорость микрочастицы достаточно мала (число Рейнольдса меньше единицы). В таком случае применяется модель линейного стокового трения, когда радиальные удерживающие силы и силы диссипации вынуждают микрообъект колебаться вблизи центра ловушки. При больших напряженностях удерживающего электрического поля скорость движения микрочастицы увеличивается и число Рейнольдса становится больше единицы, в таком случае наблюдаются эффекты нелинейной динамики – формирование расширенных орбит. Такие траектории характеризуются удвоением периода колебания, причём форма расширенных орбит зависит от физических характеристик микрообъекта. С помощью математического моделирования и сопоставления расчётных и экспериментальных данных возможна оценка физических параметров локализованной частицы: заряда, массы и размера.

Линейная конфигурация радиочастотной ловушки позволяет открыто наблюдать траектории заряженного микрообъекта. Такая конфигурация ловушки является наиболее предпочтительной для наблюдения и детектирования расширенных орбит, а также дальнейшей обработки. При определённых режимах работы линейной ловушки возможна локализация заряженного микрообъекта в областях пространства достаточно малом для применения стандартных методов снятия оптического спектра.

Выводы.

На основе предложенного метода были оценены основные характеристики заряженных спор *Urosordium clavatum* по соответствующей нелинейной динамике в поле линейной радиочастотной ловушки в условиях нелинейного демпфирования. Полученные экспериментальные данные хорошо согласуются с табличными значениями. Ключевыми особенностями метода являются его неструктурное влияние на микрообразцы различной природы и возможность локализации при нормальных условиях. Долговременное удержание микрообъектов позволяет применять и другие методы исследования, например снятие оптических спектров.

Рыбин В.В.

Подпись

Костерной И.А.

Подпись

Рождественский Ю.В.

Подпись