

УДК 535.214

ПРЯМОЕ ОПТИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА МИКРОЧАСТИЦУ В ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЙ ЛОВУШКЕ

Морозова П.А. (Университет ИТМО), Тучин В.С. (Университет ИТМО), Костерной И.А.
(Университет ИТМО)

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

В данной работе предлагается экспериментальная реализация метода селекции ансамбля микрочастиц в электродинамической ловушке с помощью лазерного излучения высокой мощности. Главной особенностью предлагаемого метода является независимость эффективности и точности селекции от параметров локализованных объектов.

Введение. Одной из основных задач физики является получение доказательного описания различных физических закономерностей и явлений, в том числе экспериментальная апробация теорий. Однако в экспериментальной физике имеются трудности с влиянием неидеальности системы на результаты из-за чего невозможно получить абсолютно чистый эксперимент. Ионные ловушки были изобретены немецким физиком Вольфгангом Паулем в 1954 году, за что он был удостоен нобелевской премии по физике в 1989 году. Электродинамические ловушки используют комбинацию переменного и постоянного полей низкой частоты для удержания заряженных объектов в пространстве. Особый интерес к ловушкам заключается в том, что ловушки позволяют локализовать одиночный заряженный микро- или нанообъект в ограниченном объеме и удерживать его там продолжительное время. Из-за особенностей конструкции и работы ловушки возможно собрать экспериментальную установку, в наибольшей степени ограничивающей негативное влияние внешних факторов, например, ионную ловушку в условиях сверхвысокого вакуума для изучения физики плазмы.

Также существует потребность в изучении отдельных объектов для определения различных параметров в чистом виде, например, энергии перехода между двумя уровнями в атоме. При изучении нескольких локализованных объектов, то есть ансамбля, одновременно будет получена усредненная величина энергии перехода в ансамбле, а не энергии перехода атома. Поэтому необходимо разделять и селективировать ансамбль для получения одиночного локализованного объекта и дальнейшего его изучения.

Самым распространенным методом селекции является метод масс-селективного накопления. Данный метод использует особенности работы ловушки для разделения ансамбля и дальнейшего удаления ненужных частиц из рабочей области. Ловушка при определенной комбинации значений переменного и постоянного напряжений, приложенных на электроды, может удерживать только частицы с определенным отношением заряда к массе. Строго говоря, имеется диапазон значений отношения заряда к массе, при которых возможна локализация заряженной частицы. Изменяя значения напряжений, можно изменять диапазон отношения заряда к массе, таким образом, частицы ансамбля, которые не будут входить в новый диапазон отношения, будут вылетать за пределы ловушки. На этом принципе основан метод масс-селективного накопления. Однако у данного метода имеется критический недостаток: если имеются две частицы с одинаковым отношением заряда к массе, то их невозможно будет разделить методом масс-селективного накопления.

Основная часть. В данной работе предлагается проводить селекцию с помощью прямого оптического воздействия на частицу. Селекция будет производиться благодаря воздействию светового давления на одиночную частицу с помощью высокоомощного лазера, где дополнительная сила, оказываемая со стороны лазерного излучения, будет уводить частицу из области локализации ловушки. Таким образом, можно воздействовать на единственную частицу в ансамбле, независимо от параметров одиночной частицы и общего количества частиц в ансамбле.

Для экспериментальной апробации метода использовалась установка, включающая в себя систему питания ловушки до 6 кВ переменного напряжения с частотой 50 Гц, линейная квадрупольная ловушка, позволяющая получить одномерные кулоновские структуры типа «ожерелье», лазер с выходной мощностью до 500 мВт и длиной волны 405 нм. Также использовался маломощный лазер на 532 нм для подсветки частиц. Съемка частиц производилась на экшен-камеру. В качестве объекта локализации использовались сферы боросиликатного стекла с диапазоном размеров 20-200 мкм.

Также было проведено теоретическое моделирование динамики микрообъекта в условиях, близко соответствующих эксперименту. Была показана динамика одиночного микрообъекта при кратковременном оптическом воздействии на частицу в ловушке. Для расчетов светового давления использовались уравнения, используемые для расчета оптических сил в пинцете, а взаимодействие частицы с ловушкой описывались уравнениями Маттьё.

Выводы. В результате выполнения проекта было показано, что метод прямого оптического воздействия позволяет исключать из ансамбля одиночные частицы без воздействия на остальную ансамбль. Особенностью данного метода является его независимость от параметров локализованного объекта, и при изменении мощности излучения можно добиться необходимого результата. Предлагаемый метод также можно использовать совместно с методом масс-селективного накопления. На завершающей стадии последнего, при малом количестве частиц и примерно равных отношениях заряда к массе, использование высокомоощного лазера позволит селектировать ансамбль до одиночной частицы.

Морозова П.А. (автор)

Подпись

Рождественский Ю.В. (научный руководитель) Подпись