

УДК 531.391

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ЗАРЯЖЕННЫХ МИКРОЧАСТИЦ ВО ВНЕШНЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ

Сорокина А.Б. (ИТМО), Рыбин В.В. (ИТМО), Рудый С.С. (ИТМО)

Научный руководитель – кандидат физико-математических наук, ассистент ИТМО
Щербинин Д.П. (ИТМО)

Введение. Левитирующие оптомеханические системы широко применяются в области сенсорики слабых взаимодействий, квантовых вычислениях, материаловедения для изучения частиц, а также в фундаментальных исследованиях. Одной из задач при проведении исследований с использованием левитирующих частиц является их загрузка в электродинамические ловушки [1]. Существуют различные методы решения проблемы загрузки частиц в электродинамические ловушки: ультразвуковые методы, электроспреи, методы, основанные на лазерно-индуцированной акустической десорбции, методы, предполагающие использование пьезоэлектрических преобразователей, а также методы, использующие электромагнитные звуковые излучатели [2]. В то же время, на сегодняшний день отсутствуют универсальные платформы для реализации доставки частиц различной природы. Для устойчивой локализации частиц необходим подбор параметров питания электродов ловушек, таких как амплитуда и частота переменного напряжения, величина подаваемого постоянного напряжения. При этом параметры поля, необходимые для устойчивой локализации частиц могут быть определены исходя из соотношения массы к заряду частиц и их начальной кинетической энергии. Настоящее исследование посвящено изучению динамики заряженных частиц во внешнем электрическом поле для определения распределения отношения массы к заряду и начальных скоростей.

Основная часть. В настоящей работе исследуется динамика движения заряженных частиц во внешнем электрическом поле с целью определения их начальных скоростей и распределения отношения массы к заряду, что осуществляется путём анализа треков частиц, зафиксированных с помощью видеосъёмки и обработанных методами машинного зрения с применением технологий искусственного интеллекта. В настоящей работе в качестве устройства доставки использовался электромагнитный звуковой излучатель, работающий на частоте 1-2 кГц. Для доставки частиц в рабочую область экспериментальной установки производилось подбрасывание частиц непосредственно с колеблющейся мембраны электромагнитного звукового излучателя. В процессе такой доставки не происходит изменения размеров и морфологии частиц, а также существенного изменения поверхностного заряда. Треки частиц фиксировались камерой с частотой кадров 29,97 Гц. В качестве подсветки, повышающей контрастность кадров, использовался лазер с длиной волны 532 нм. Обработка полученных данных производилось кодом на языке программирования Python с использованием методов машинного зрения и технологий искусственного интеллекта: изображение фильтровалось до двухцветного, после чего определялись координаты частиц в каждый момент времени. Для одновременного определения координат нескольких частиц в кадре в обрабатывающий код была встроена нейронная сеть, опознающая и отслеживающая трек каждой частицы. Для создания регулируемого однородного внешнего электрического поля использовались плоскопараллельные проводящие пластины, на которые подавалось постоянное напряжение 3 кВ. Начальная скорость определялась при свободном подбрасывании частиц в отсутствие действия на них внешнего электрического поля по известным координатам и частоте смены кадров. Для определения отношения заряда к массе наблюдались треки частиц в режиме свободного падения с последующим включением постоянного напряжения между параллельными проводящими пластинами. При мгновенном включении внешнего электрического воздействия на частицы действовала сила Кулона, притягивающая частицы к противоположно заряженным пластинам соответственно. При движении частиц под

действием электрического поля из законов и принципов классической механики выводилось отношение заряда к массе для каждой из микрочастиц.

Выводы. В настоящей работе были получены распределения начальных скоростей и отношений заряда к массе стеклянных микросфер SiO_2 инжектируемых с электромагнитным звуковым излучателем на воздухе. Были выявлены оптимальные режимы наблюдения за треками частиц для последующего определения искомых распределений величин, а именно: подбрасывание без внешнего электрического воздействия и свободное падение последующим включением внешнего электрического поля. На текущем этапе проекта разработан концепт методов, позволяющих определять положение системы подачи частиц в пространстве и параметры питания электродинамических ловушек для стабильной локализации частиц.

Список использованных источников:

1. Gonzalez-Ballester C. et al. Levitodynamics: Levitation and control of microscopic objects in vacuum //Science. – 2021. – Т. 374. – №. 6564. – С. eabg3027.
2. Jin Y. et al. Towards real-world applications of levitated optomechanics //arXiv preprint arXiv:2407.12496. – 2024.