

Манипуляция биологическими объектами при помощи оптического пинцета.

Автор: Абдулразак С.Х., Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики информационных технологий, механики и оптики, Санкт-Петербург

Научный руководитель: Рождественский Ю.В., Санкт-Петербургский университет информационных технологий, механики и оптики информационных технологий, механики и оптики, Санкт-Петербург

Возможность управления динамикой микрообъектов при помощи сильно сфокусированного лазерного излучения впервые была предложена А. Ашкиным в 1970 году, когда градиентной силой светового давления был реализован захват диэлектрической частицы микронного размера оптическим излучением. Далее именно А. Ашкин впервые продемонстрировал удержание лазерным лучом бактерии в воде, что положило начало новому методу исследования биологических объектов - лазерному пинцету. Уже в 80-х годах XX -века Стивен Блок и Говард Берг применили технологию оптического пинцета в биологии, используя её, чтобы удержать бактерию с целью изучения бактериальных жгутиков. В дальнейшем данная технология применялась во многих областях биологии и химии, в спектроскопии и биофизике.

Работа оптического пинцета основана на воздействии двух основных сил на объект, помещенный в пределах действия ловушки: градиентной силы и силы светового давления. Первая сила обусловлена взаимодействием электрического поля оптического излучения с дипольным моментом диэлектрической структуры. Данная сила воздействует на плененную структуру в направлении градиента поля. В тоже время сила светового давления придает импульс в направлении распространения излучения.

В зависимости от размеров объекта пленения соотношение между силами может меняться. Так если диаметр частицы много меньше длины волны излучения, то реализуются условия для рассеяния Рэлея и диэлектрическую частицу можно рассматривать как точечный диполь в электрическом поле. В случае, когда размер объекта много больше длины волны – сила светового давления преобладает и для описания воздействия на объект оптического излучения могут быть использованы законы геометрической оптики.

В настоящей работе рассматривается диэлектрическая сфера в поле оптического излучения, диаметр которой много больше длины световой волны, что позволяет использовать для расчетов действующих на сферу сил формулы Френеля. Считается, что пучок света засвечивает всю поверхность сферы и имеет гауссовское распределение по интенсивности поперек оси распространения пучка. При этом мы рассматривали случай только одномерной границы раздела сред. Далее, разложив падающую световую волну на преломленную и отраженную мы нашли силы светового давления, вызванные как падающей, так и преломленной, и отраженной волнами. Нами показано, что основной вклад дает сила преломленной волны, которая и направляет сферу к центру пучка, где максимальная интенсивность. Сила от отраженной волны значительно меньше всех других сил и не имеет существенного значения в перемещении и пленении объекта. Однако падающий свет направляет сферу вдоль распространения лазерного излучения и эта сила по величине близка к силе от преломленной волны. В результате в рамках волновой оптики удалось рассмотреть наблюдаемое в экспериментах явление втягивания частиц в центр ловушки.

Кроме того, из вычислений следует, что силы, действующие на частицу сферической формы, не зависят от радиуса частицы, а зависят только от разности показателей преломления сред. Поэтому все объекты сферической формы, попавшие в зону действия лазерного пучка, будут втягиваться с одной и той же силой. Но так как скорость их будет зависеть от их масс, которая в свою очередь – от радиуса (если частицы одного вещества), то они будут распределены в пучке по скоростям, то есть по массам.

Биологические структуры имеют широкое разнообразие форм и размеров. На основании того, что в проведенных вычислениях мы использовали интегрирование, то записав уравнение для формы или разбив на более простые части, можно применять к более сложным объектам с целью их пленения. Одним из самых распространенных и интересных для исследования являются эритроциты – красные кровеносные тельца. Имея диаметр в несколько микрон, они удовлетворяют всем выше обозначенным условиям. Столь повышенный интерес обусловлен их ролью в организме: они доставляют кислород всем клеткам. Так же они имеют высокую чувствительность к патологическим изменениям при многих заболеваниях. Основным направлением в исследовании эритроцитов с помощью лазерного пинцета является изучение свойств их мембраны, в частности ее жесткости и деформации.

В современной науке актуально изучать оптическую ловушку, в связи с активным применением во многих передовых областях. Это обусловлено, тем что ловушка позволяет использовать минимальные объемы материала, работать индивидуально с объектами и обеспечивает возможность перемещения плененных частиц.