УПРАВЛЕНИЕ ТРАНСПОРТИРОВКОЙ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ НАНОЧАСТИЦ, НАХОДЯЩИХСЯ ВО ВСТРЕЧНЫХ СВЕТОВЫХ ПУЧКАХ, СИЛОЙ СВЕТОВОГО ДАВЛЕНИЯ

Е. В. Матук, Л. С. Гайда, А. Ч. Свистун

Гродненский государственный университет им. Я. Купалы,
ул. Элизы Ожешко 22, 230023, Гродно, Беларусь,
e-mail: eugeniusz91@mail.ru

В работе приведены результаты экспериментальных исследований захвата и транспортировки серебряных наночастиц (радиусом $R \approx 50$ нм), находящихся в жидкости, электромагнитным полем созданным встречными световыми пучками. Экспериментально показано, что лазерное излучение (на длине волны 532 нм) сфокусированного луча создает пучок гауссовой формы, в котором возникают силы, способные приводить в движение наноразмерные частицы находящиеся в жидких средах.

Ключевые слова: световое давление; гауссов пучок; металлическая наночастица.

MANAGEMENT OF TRANSPORTATION OF METALLIC NANOPARTICLES FACING IN MEETING LIGHT BEAMS, LIGHT PRESSURE FORCE

E. V. Matuk, L. S. Gaida, A. Ch. Svistun

Kupala State University of Grodno, Eliza Ozheshko str. 22, 230023, Grodno, Belarus,
Corresponding author: E. V. Matuk (eugeniusz91@mail.ru)

The results of experimental studies of the capture and transport of silver nanoparticles (radius $R \approx 50$ nm) located in a liquid by an electromagnetic field created by colliding light beams are presented. It has been experimentally shown that laser radiation (at a wavelength of 532 nm) of a focused beam produces a Gaussian beam , in which there are forces capable of driving nano-sized particles in liquid media.

Key words: light pressure; Gaussian beam; metallic nanoparticle.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из интересных эффектов взаимодействия лазерного излучения с суспензией наночастиц в жидкости, является движение наночастиц в электромагнитном поле. Движение малых частиц в электромагнитном поле становится возможным благодаря воздействию на наночастицы сил светового давления [1, 2].

Управление локализацией наноразмерных объектов с помощью сил светового давления может иметь целый ряд практических применений, например, для манипуляции вирусами, бактериями без их повреждения [3].

В физике исследование светового давления также представляет большой интерес. Например, силы светового давления в интерференционном световом поле позволяют упорядочить расположение микрочастиц [4], что позволяет создавать гетерогенные среды на основе взвешенных в жидкости микрочастиц, обладающие интересными оптическими свойствами [5, 6].

Таким образом, исследование силы светового давления является на сегодняшний день актуальной и весьма важной задачей.

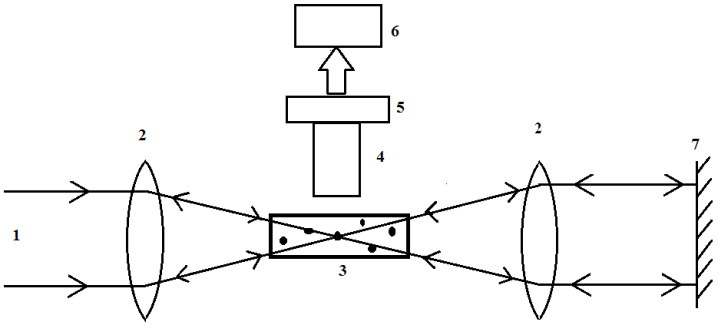
Целью настоящей работы является экспериментальное исследование захвата и управляемой транспортировки серебряных наночастиц под действием сил светового давления электромагнитного поля созданного встречными световыми пучками гауссовой формы.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Авторами [7] рассмотрен случай захвата частиц встречными световыми пучками. Можно было бы предложить, что в таком случае не должна возникать сила вдоль направления распространения, когда два одинаковых пучка (эванесцентных или нет) противоположны друг другу. Однако это не так: два когерентных луча, создают интерференционные полосы и изменение импульса полей в общем случае не равно нулю, если сферическая частица оказывается на максимуме или минимуме интерференции.

Исходя из результатов работы [7], следует, что величина силы светового давления зависит от разности фаз колебаний световых волн. Интересный аспект результатов состоит в том, что существуют размеры сферы (относительно длины волны излучения), для которых сила светового давления равна нулю, каково бы ни было ее положение в пределах поля.

На рисунке 1 представлена оптическая схема по созданию встречных световых пучков и наблюдению за локализацией металлических наночастиц в электромагнитном поле.



1 – лазерное излучение, 2 – линза, 3 – кювета с наночастицами, 4 – микроскоп, 5 – веб-камера, 6 – компьютер, 7 – зеркало

Рисунок 1. – Оптическая схема экспериментальной установки

Совмещение встречных пучков (рисунок 1) осуществлялось зеркалом (7), которое могло свободно поворачиваться в трех плоскостях. Наличие собирающих линз (2) позволяет создавать сильно сфокусированные лучи, в результате интерференционные полосы созданные встречными световыми пучками будут иметь конечную ширину, наиболее узкую в фокальной области (фокусное расстояние линз f = 10 см). В качестве источника оптического излучения (1) использовался лазер ЛТИ-701 (с мощностью 1 Вт при возможном максимальном значении 4 Вт, мощность снижена в целях уменьшения хаотичного теплового движения наночастиц). Исследуемыми объектами были серебряные наночастицы радиусом ≈ 50 нм находящиеся в жидко-

сти (вода) (3). Наблюдение за встречными световыми пучками и локализацией металлических наночастиц осуществлялось при помощи микроскопа (4) совмещенного с веб-камерой (5) подключенной к компьютеру (6).

На рисунке 2 показаны снимки локализации серебряной наночастицы во встречных световых пучках (снимки масштабированы). Наблюдаемая частица отмечена белым кружком.

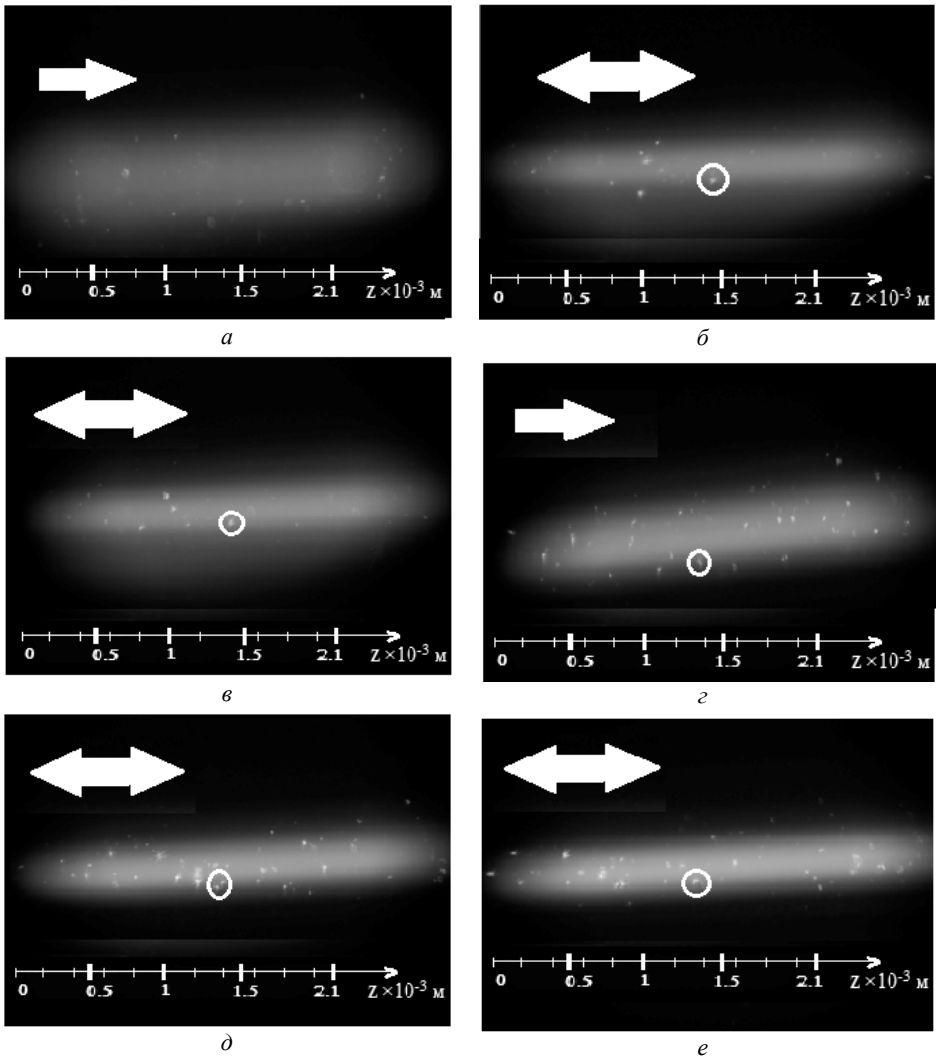


Рисунок 2. – Снимки локализации серебряной наночастицы во встречных световых пучках (снимки сделаны с интервалом 60 с)

На рисунке 2, *а* показан только один световой луч, и частицы расположены хаотично. На снимке (*б*) создан встречный световой луч и наблюдаемая наночастица, находится в световом поле двух лучей. Спустя промежуток времени 60 с (*в*) место расположения наночастицы не поменялось. После отключения второго светового

луча (снимок *г*) частица сместилась на периферию падающего луча. На снимках (*д*) и (*е*) снова создан встречный световой луч, и наблюдаемая частица смещается ближе к центру лучей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе приведены результаты экспериментальных исследований захвата и транспортировки серебряных наночастиц, находящихся в жидкости, электромагнитным полем созданным встречными световыми пучками гауссовой формы. Показано, что встречные пучки способны создавать силы достаточные для пленения наночастиц.

Результаты работы могут стать основой для дальнейших теоретических и экспериментальных исследований по влиянию сил светового давления лазерного излучения гауссовой формы на металлические наночастицы в жидкостях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Афанасьев, А. А.Транспортировка сферической прозрачной наночастицы радиационными силами в поле гауссова пучка лазерного излучения / А. А. Афанасьев, Л. С. Гайда, Д. В. Гузатов, Д. В. Новицкий, Е. В Матук // Оптика и спектроскопия. – 2016. – Т. 120, № 1. – С. 153–157
2. Движение серебряных наночастиц в жидкости с различной вязкостью под действием сил светового давления / А. А. Афанасьев, Л. С. Гайда, Е. В. Матук, А. Ч. Свистун // Проблемы физики, математики и техники. – 2016. – № 4 (29). – С. 7–12.
3. Кургузенкова, И.И. Световое давление на сферическую наночастицу с концентрической оболочкой в поле плоской электромагнитной волны /И.И. Кургузенкова, Д.В. Гузатов, Л.С. Гайда // Проблемы физики, математики и техники.- 2013 .- № 2.- С.11-17.
4. Модуляция концентрации частиц в интерференционном поле лазерного излучения / А.А. Афанасьев [и др.] // ЖПС. – 2002. – Т. 69, № 5. – С. 675–678.
5. Четырехволновое смещение в жидкой суспензии диэлектрических прозрачных микросфер / А.А. Афанасьев [и др.] // ЖЭТФ.–2005.–Т.128.№3.–С.451–463.
6. Wulf, K.D. Aberration correction in holographic optical tweezers / K.D. Wulf // Opt. Express.– 2006.– Vol. 14, No. 9.
7. Lekner, J. Force on a scatterer in counter-propagating coherent beams / J. Lekner // Journal of Optics: Pure Appl. Optics – 2005. – № 7. – P. 238–248.

ВЛИЯНИЕ МОРФОЛОГИИ НА СТАБИЛЬНОСТЬ НАНОШНУРОВ КРЕМНИЯ И ГЕРМАНИЯ

И. С. Самусевич[1], Д. А. Шохонов[1], И. В. Сафронов[2], Д. Б. Мигас[1]

[1)] Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, П. Бровки, 6, 200013 Минск, Беларусь, e-mail: ivan.samusevich@gmail.com,

[2)] Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030 Минск, Беларусь

Проведено исследование стабильности наношнуров кремния и германия с различными типами морфологий и направлениями роста в диапазоне диаметров ~1,5–20 нм. Моделирование проводилось методом молекулярной динамики с использованием пакета LAMMPS. Результаты показывают, что с увеличением диаметра наношнуров более 20 нм их морфология практически не влияет на стабильность.

Ключевые слова: кремний; германий; наношнур; морфология; стабильность.