

# Изучение влияния граничных эффектов на плазмонную силу между металлическими пластинами

**А.К. Туснин<sup>1,\*</sup>, Л.Л. Фрумин<sup>1,2</sup>, Д.А. Шапиро<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Институт автоматизации и электрометрии СО РАН

<sup>2</sup>Новосибирский государственный технический университет

\*E-mail: [alexusnina@gmail.com](mailto:alexusnina@gmail.com)

DOI: 10.31868/RFL2020.230-231

Использование светоиндуцированных сил для манипуляции микро- и нано-объектами имеет широкий спектр применений в различных областях, включая как Микро-Опто-Электро-Механические системы (англ. MOEMS) [1], изучение биологических и макро-молекулярных систем [2,3]. Одним из основных инструментов в этой области являются плазмонные силы [1], которые позволяют манипулировать диэлектрическими объектами. В 2011 году Нестеров и др. обнаружили новый тип светоиндуцированных сил, которые позволяют манипулировать металлическими микро- и нано-частицами [4]. Авторы обнаружили, что при возбуждении поверхностного плазмона между двумя металлическими пластинами, в зазоре возникает сила притяжения. В связи с этим, эта сила была названа плазмонной. Последующие теоретические работы исследовали влияние неточности юстировки и высших мод на величину силы, предполагая размер пластин и фронт падающего излучения бесконечными [5,6]. В данной работе мы рассматриваем эффекты конечной фокусировки и ширины пластин.

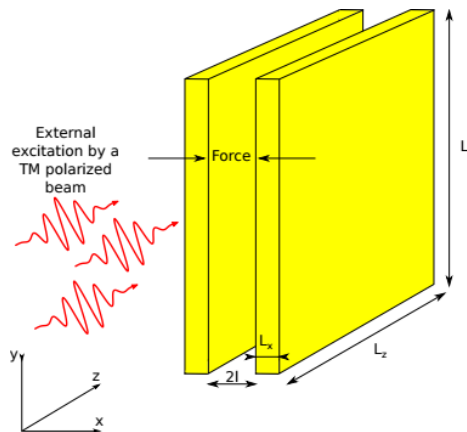


Рис. 1. Геометрия задачи. Падающее излучение имеет компоненту магнитного поля только вдоль оси  $y$ .

Мы рассматриваем две параллельные металлические пластины с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon = \epsilon_1 + i \epsilon_2$  на расстоянии  $2l$  друг от друга. Пренебрегая высотой ( $L_y$ ) и толщиной ( $L_x$ ) пластин и рассматривая только нормальное падение падающего излучения на переднюю грань (см. Рис. 1), мы изучали по отдельности эффекты цилиндрической (вдоль оси  $x$ ), сферической (вдоль осей  $x$  и  $y$ ) фокусировок, а так же влияние конечной ширины ( $L_z$ ) пластин. Для расчёта возникающей силы мы интегрировали тензор натяжений Максвелла по внутренней поверхности пластин. Однако, для этого необходимо знать распределение электро-магнитного (ЭМ) поля внутри щели. Для расчёта ЭМ поля

мы использовали разложение на собственные функции, которое позволило нам свести уравнение гельмгольца на  $u$ -компоненту магнитного поля к системе линейных уравнений на амплитуды возбуждаемых мод.

В ходе расчётов было установлено, что цилиндрически сфокусированный пучок может возбуждать высшие моды внутри щели, что ведёт к уменьшению возникающей силы, так как лишь фундаментальная мода вызывает притяжение. Расчёт в случае сферической фокусировки был произведён для субволновой ширины щели, когда лишь фундаментальная мода существует в резонаторе. Было показано, что сила пропорциональна ширине пучка. При анализе влияния ширины пластин мы рассматривали фундаментальные моды, распространяющиеся вдоль и против направления падения. Было получена резонансная зависимость силы от ширины пластин при разных значениях ширины щели. В случае очень узкой щели резонансное значение силы может быть больше, чем для бесконечно больших пластин, однако резонансы в этом случае очень узкие. С увеличением ширины щели, резонансы сглаживаются и сила равномерно растёт с увеличением ширины пластин.

Полученные результаты могут быть использованы для подготовки и реализации эксперимента по измерению плазмонной силы с использованием средств микрофабрикации.

## Литература

- [1] M.E. Motamedi, *Optical Engineering* **33(11)**, 3505–3518 (1994)
- [2] A. Ashkin and J.M. Dziedzic, *Science* **235**, 1517–1520 (1987)
- [3] D.G. Grier, *Nature* **424**, 810-816 (2003)
- [4] V. Nesterov, L. Frumin and E. Podivilov, *EPL* **94**, 64002 (2011)
- [5] L.L. Frumin, A.K. Tusnin, O.V. Belai, D.A. Shapiro, *Opt. Express* **25**, 31801-31809 (2017)
- [6] A. Tusnin, D. Shapiro, *OSA Continuum* **1**, 384-391 (2018)

Научный руководитель – доктор физ.-мат. наук Д.А. Шапиро