

УДК 537.8

СИЛА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ, ВЫЗВАННАЯ РЕЗОНАНСНЫМИ ЭФФЕКТАМИ В СВЧ ОБЛАСТИ

Панурченко В.П. (Университет ИТМО), Тиманкова Ю.А. (Университет ИТМО),
Искра К.В. (Университет ИТМО)

Научный руководитель - аспирант 4 курса, Корешин Е.А. (Университет ИТМО)

Введение. Вопрос взаимодействия различных материалов с электромагнитным полем всегда представлял интерес для ученых. Хорошо исследовано взаимодействие металлов с постоянным электрическим полем, ферромагнетиков с постоянным магнитным полем, диамагнетиков с переменным магнитным полем [1, 2]. Важным шагом в изучении этого вопроса стало открытие взаимодействия диэлектрических частиц с лазерным излучением, на основе которого был создан оптический пинцет[3]. Однако подобное взаимодействие не было изучено для СВЧ области электромагнитного излучения и макрообъектов, что делает наше исследование актуальным. Для сверхвысокочастотной области характерна низкая плотность мощности энергии и, соответственно, малая сила взаимодействия. По этой причине, в данной работе рассматриваются резонансные эффекты, позволяющие кратно увеличить амплитуду электромагнитного поля.

Основная часть. Объекты исследования - пара сильно взаимодействующих резонаторов, первый из которых представлен отрезком прямоугольного металлического волновода, второй диэлектрическим цилиндром с большой диэлектрической проницаемостью, на который будет действовать сила. Длина волновода подбиралась так, чтобы резонансная частота его TE₁₀₃ моды совпадала с основной модой диэлектрического резонатора, магнитное поле которой подобно магнитному диполью.. Цилиндр помещался внутрь волновода.

Было произведено численное моделирование электромагнитной задачи в программах CST Microwave Studio и COMSOL Multiphysics. Значение силы, действующей между двумя объектами, вычислялось через тензор Максвелла из распределения ЭМ полей. В численном моделировании рассматривалась зависимость коэффициента отражения системы из резонаторов, а также силы, действующей на цилиндр, от положения цилиндра в волноводе. Была подтверждена корреляция: чем меньше коэффициент отражения, тем больше сила взаимодействия. На основе этих данных было найдено оптимальное положение цилиндра, при котором сила достигает наибольшего значения.

Численные расчеты показали, что максимальная сила составляет 0,8 мкН при поданной в систему мощности в 1 Вт на частоте 2.4 ГГц. Стоит заметить, что сила является крайне малой и не может быть измерена многими классическими методами. Для ее измерения была предложена методика, подразумевающая создания высокочастотной системы с механическим резонансом на частоте порядка Гц. Механические колебания со значительной амплитудой в такой системе могут возбуждаться даже незначительной периодически действующей силой. Таким образом, диск закрепляется на пружине; при подаче СВЧ амплитудно-модулированного сигнала с несущей частотой, равной резонансной частоте ЭМ системы, на диск будет действовать переменная сила. Она будет вынуждать колебания пружины, по амплитуде которых можно будет узнать величину силы. Расчет такой механической системы, на которую периодически действует малая сила, показал, что амплитуда гармонических колебаний с учетом силы сопротивления воздуха экспериментально измерима и составляет 4 мм.

Выводы. В ходе работы было исследовано взаимодействие диэлектрического цилиндра и резонатора из волновода. Было проведено моделирование для нахождения оптимального положения цилиндра, в котором сила достигает своего максимального значения - 0,8 мкН. Была предложена методология фиксации малой силы с помощью

измерения амплитуды вынужденных колебаний под действием периодически меняющегося поля. Экспериментально была подтверждена зависимость коэффициента отражения от положения цилиндра. В дальнейшем планируется проведение эксперимента по измерению силы.

Список использованных источников:

1. Yonnet J-P. Passive magnetic bearings with permanent magnets // IEEE Transactions on magnetics. — 1978. — Vol. 14, No. 5. P. 803–805.
2. Simon MD, Geim AK. Diamagnetic levitation: Flying frogs and floating magnets // Journal of applied physics. — 2000. — Vol. 87, No. 9. P. 6200– 6204.
3. Polimeno, Paolo, et al. "Optical tweezers and their applications." J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer, vol. 218, 1 Oct. 2018, pp. 131-50, doi:10.1016/j.jqsrt.2018.07.013.