

УДК 535.131

РАСЧЕТ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕДАЧИ УГЛОВОГО МОМЕНТА ОТ
ЗАКРУЧЕННОГО СВЕТА К ПЛАСТИНЕ

Ким Е.А. (НИУ ИТМО), Филина Н.В. (НИУ ИТМО), Шулакова Ю.В. (НИУ ИТМО)
Научные руководители – к.ф.-м.н. Батурин С.С., Сизых Г.К.
(НИУ ИТМО)

Аннотация.

В работе рассмотрена задача о передаче углового момента от электромагнитной волны к полностью поглощающей круглой пластине в предположении, что электромагнитная волна представима в виде бесселевой волны с ненулевым азимутальным индексом. Произведен расчет плотности потока момента импульса, переносимого такой волной, а также получено аналитическое выражение для момента сил, который возникает при полном поглощении такой волны круглой пластиной. Полученные формулы применены для расчета момента сил, создаваемого лазерной волной (рассмотрен эксимерный лазер) и СВЧ волной (рассмотрены параметры стандартного магнетрона СВЧ печи).

Введение.

Особенностью бесселевых волн является наличие двух свойств: ненулевой проекции момента импульса и определённого направления движения. Поверхность постоянной фазы таких волн представляет собой спираль вдоль выделенной оси z , а вектор Пойнтинга также совершает движение по спирали вокруг этой оси. Такое состояние света принято называть “закрученным”

Теория закрученного света начала развиваться в 1992 году Б.Я. Зельдовичем с соавторами и А.Вассаром с соавторами. После выхода статьи Аллена и его коллег научное сообщество всерьез заинтересовалось закрученными состояниями, и в 1995 году узконаправленные закрученные световые пучки были получены в лаборатории с помощью специальной призмы с переменной толщиной. Современные способы получения закрученного света основываются на преобразовании плоских волн с помощью дифракционных решеток и компьютерно сгенерированных вилочных голограмм.

Эксперименты, подтверждающие способность электромагнитных волн переносить не только импульс, но и момент импульса, были осуществлены как в микромасштабе, так и на макроуровне: микрочастица, подвешенная в фокусе лазерного луча и поглощающая свет, начинала вращаться в направлении, зависящего от направления закрученности света; круглая четвертьволновая пластинка, подвешенная в вакууме на тонкой нити, начинала вращаться при падении на нее циркулярно поляризованного света. Исследования в этой области продолжаются и по сей день, так как закрученный свет нашел множество применений в различных областях физики и техники, в частности, требующих манипуляций с микрообъектами. Довольно много работ посвящено экспериментальному изучению закрученного света. Мы же решили сформировать теоретическую и вычислительную базу, позволяющую аналитически объяснить и описать эффект передачи момента импульса электромагнитной волны механическому объекту и оценить возможность реализации этой работы для демонстрации свойств излучения, связанных с угловым моментом, в академических целях

Постановка задачи: круглая полностью поглощающая пластинка облучается бесселевой волной. Волна распространяется перпендикулярно плоскости образца. Момент сил трения, связанный с взаимодействием пластины с опорой, считается исчезающе малым.

Основная часть.

Вычислительную часть проекта глобально можно разбить на 4 последовательных этапа:

- 1) Поиск выражения для вектора потенциала закрученного излучения.
- 2) Выражение магнитного и электрического поля закрученного излучения через найденный векторный потенциал.
- 3) Расчет плотности углового момента закрученного излучения.
- 4) Вычисление момента сил, действующих на пластинку.

Интерес для нас будет представлять вычисление проекции момента сил вдоль оси распространения бесселевой волны. Рассматриваемая проекция, вычисляемая как интеграл плотности потока момента сил по поперечному сечению пластины, представляет собой замкнутое аналитическое выражение для момента сил, который возникает на пластинке при поглощении закрученного электромагнитного излучения.

Необходимо особо отметить, что получение аналитической формулы для момента сил, действующего на пластинку, произведено в рамках описанной модели и не содержит дополнительных математических приближений. Это даёт возможность использовать полученную формулу как основу для предварительной оценки параметров при разработке макета экспериментальной установки.

Для оценки возможности реализации эксперимента, демонстрирующего описанный выше эффект, мы рассмотрели два модельных примера - с эксимерным лазером и микроволновым магнетроном. Для каждого случая были вычислены проекции момента сил и угловое ускорение пластинки.

Выводы.

В работе получено аналитическое выражение для момента сил, действующего со стороны закрученного излучения на полностью поглощающую его пластину. Также был проведен расчет момента сил и получающегося в результате действия этих сил углового ускорения пластины. Мы также хотим подчеркнуть, что в данной работе не учтены силы трения, которые несомненно приведут к снижению результирующего момента сил и углового ускорения пластины. Данное усложнение является следующим этапом в рассмотрении поставленной задачи.

Стоит отметить, что полученные аналитические выражения являются наглядными и позволяют произвести дальнейший анализ.

В заключении подчеркнем, что численный расчет показывает потенциальную возможность реализации эксперимента по передаче углового момента от электромагнитного излучения к пластинке в обоих рассмотренных случаях.

Ким Е.А. (автор)

Подпись

Батурин С.С. (научный руководитель)

Подпись