

УДК 535.36

ВЛИЯНИЕ СИММЕТРИЙНЫХ СВОЙСТВ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЧАСТИЦ НА ИХ БИАНИЗОТРОПНЫЙ ОПТИЧЕСКИЙ ОТКЛИК

Полева М.А. (Университет ИТМО), Барышникова К.В. (Университет ИТМО), Фризюк К.С. (Университет ИТМО), Евлюхин А.Б. (Institute of Quantum Optics, Leibniz Universität Hannover)

Научный руководитель – к.ф.-м.н., старший научный сотрудник Барышникова К.В. (Университет ИТМО)

Данная работа посвящена исследованию симметричных свойств диэлектрической нанопризмы и их влиянию на оптический бианизотропный отклик. Мы показали, что, разделив векторные сферические мультиполи в соответствии с неприводимыми представлениями симметричной группы изучаемой частицы, можно предсказать, какие мультиполи будут возбуждаться при разных конфигурациях падающих плоских волн.

Введение. Зачастую электрические и магнитные свойства однородных материалов описываются раздельным взаимодействием с электрической и магнитной компонентами внешнего поля соответственно. Однако в общем случае электрический отклик среды или частицы может быть связан как с электрической, так и с магнитной компонентой падающего поля, и наоборот, магнитный отклик — не только с магнитной, но и с электрической. Бианизотропия – явление, описывающее такой тип отклика, а среды или частицы с сильной магнитоэлектрической связью называются бианизотропными. Метаповерхности и метаматериалы, составленные из частиц, обладающих данным свойством, могут проявлять уникальные свойства, такие как наведение сильных ближних полей с возможностью переключения типа поля при изменении поляризации падающей волны, а также возбуждение запертой моды. При этом, было показано, что наличие бианизотропии для одиночного атома может быть предсказано посредством группового анализа и мультипольной классификации собственных мод.

Основная часть. В нашем исследовании мы использовали диэлектрическую наночастицу в форме треугольной призмы с равнобедренным треугольником в основании. Для конкретизации группы симметрии, к которому можно отнести исследуемый объект, мы выбрали следующую ориентацию призмы в декартовой системе координат: треугольное основание находится в плоскости (x,y) , при этом высота треугольника параллельна оси x , а высота призмы параллельна оси z . Численное моделирование производилось в программном обеспечении COMSOL Multiphysics. Мы сделали мультипольное разложение отклика призмы на падающую волну, и убедились в том, что вклады в сечение рассеяния от диполей значительно превышают вклады квадрупольей. Поэтому мы использовали дипольное приближение для дальнейшего анализа результатов. Расчеты показали, что при падении на исследуемую частицу u -поляризованной плоской волны в направлении оси z никакой анизотропной и бианизотропной связи не возникает, возбуждаются только основные компоненты диполей, то есть электрический диполь осциллирует вдоль электрического поля падающей волны, а магнитный вдоль магнитного поля, что указывает на отсутствие соответствующих недиагональных элементов прямых и бианизотропных тензоров дипольных поляризуемостей. Следовательно, по принципу Онзагера-Казимира для кинетических коэффициентов, который должен выполняться для нашей частицы вследствие взаимности, соответствующие недиагональные элементы тензоров поляризуемостей не должны возникать и при других направлениях облучения. Например, не должно возбуждаться диполя вдоль оси y при падении на образец x -поляризованного света с волновым вектором параллельным y . Но наши расчеты показали, что при падении такой плоской волны на частицу u электрического диполя возникает компонента не только

вдоль падающего электрического поля, но и вдоль направления падения волны, что в модели дипольной бианизотропии может быть только при наличии недиагональных элементов тензоров дипольных поляризуемостей. Поэтому, анализируя полученное противоречие, мы пришли к выводу, что приближение дипольной бианизотропии, когда дипольные моменты частицы возбуждаются только полями в центре ее масс, недостаточно, и надо учитывать вклады в возбуждение дипольных моментов старших пространственных производных полей. Но вместо сложных аналитических расчетов, для объяснения полученных результатов, мы прибегли к симметричному анализу и мультипольной классификации мод.

Треугольная призма с равнобедренным треугольником в основании в выбранной нами ориентации имеет симметрию группы D_{3h} . У данной группы 6 неприводимых представлений, 2 из которых вырожденные (то есть мультиполи внутри данных представлений разделяются на 2 собственные моды). Также мы разложили плоскую волну по векторным сферическим гармоникам, чтобы понимать, какие моды возбуждаются той или иной конфигурацией плоской волны. Х-поляризованная волна вдоль y включает в себя следующие векторные сферические гармоники: $N_{e11}, N_{o22}, M_{e01}, M_{o12}$ (на самом деле их бесконечно много, но для объяснения эффекта в нашей задаче рассмотрение более старших мультиполей необязательно). При этом возбуждающийся y -поляризованный мультиполь N_{o11} (электрический диполь вдоль y) принадлежит моде, которая возбуждается за счет квадруполь N_{o22} .

Выводы. Мы показали, что для частицы с симметрией D_{3h} , нет диполь – дипольной бианизотропии (то есть бианизотропии в ее классическом понимании). А наблюдаемый нами эффект можно назвать квадруполь-дипольной бианизотропией. При этом, если заменить треугольник в основании на равнобедренный, группой симметрией объекта уже будет C_{2v} , для которой будет наблюдаться уже диполь-дипольная бианизотропия. Таким образом, бианизотропный отклик частицы всегда можно предсказать, обратившись к групповому анализу и мультипольной классификации собственных мод.

Полева М.А. (автор)

Подпись

Барышникова К.В. (научный руководитель)

Подпись