

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЛАЗМОННОГО РЕЗОНАНСА В НАНОЧАСТИЦАХ МЕТОДОМ ГРАНИЧНЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ

Сетуха Елена Алексеевна

Студент

Факультет ВМК МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: setyhaalena29@gmail.com

Научный руководитель — Лопушенко Владимир Васильевич

Наноплазмоника привлекает повышенное внимание как исследователей, так и технологов в области биомедицины, сенсорики, при конструировании современных интегральных схем и других высокотехнологических отраслей. Особый интерес вызывает явление плазмонного резонанса (ПР) - колебания электрического заряда на поверхности металлических наночастиц под воздействием световых волн. Актуальным является исследование влияния параметров плазмонных наноструктур на их оптические характеристики.

В работе исследуется ПР в металлических наночастицах различного размера и формы. Используется методика моделирования ПР в наночастицах с применением граничных интегральных уравнений, которые решаются методом кусочно-постоянных аппроксимаций и коллокаций. Внешнее облучение рассматривается в оптическом диапазоне длин волн. Влияние формы частиц на свойства ПР изучается на примере золотых, серебряных и натриевых сфероидов одинакового объема с различным соотношением осей. Проведены расчеты сечения экстинкции при различных параметрах задачи, включая показатель преломления внешней среды.

С математической точки зрения, решается задача рассеяния внешней монохроматической электромагнитной волны на плазмонной частице, которая рассматривается как однородное диэлектрическое тело.

Электромагнитное поле в пространстве описывается уравнениями Максвелла в отсутствие сторонних токов и зарядов. Во внешней области частицы полное электрическое и магнитное поле ищется в виде суммы падающего поля ($\vec{E}_{inc}$, $\vec{H}_{inc}$) и неизвестного поля рассеяния ($\vec{E}(x)$, $\vec{H}(x)$).

На поверхности частицы Σ ставится граничное условие непрерыв-

ности касательных компонент электрического и магнитного полей:

$$\begin{cases} \left[\vec{n} \times \vec{E}_{tot}^+ \right] = \left[\vec{n} \times \vec{E}^- \right], \\ \left[\vec{n} \times \vec{H}_{tot}^+ \right] = \left[\vec{n} \times \vec{H}^- \right], \end{cases} \quad (1)$$

где индексы «+» соответствуют краевым значениям векторных полей с внешней(внутренней) стороны поверхности. Также ставится условие Мюллера-Сильвестра излучения волны на бесконечности.

Электрическое и магнитное поле ищется с помощью интегральных представлений через эквивалентные магнитные и электрические поверхностные токи. Для нахождения поверхностных токов используется система интегральных уравнений на поверхности Σ , предложенная в работе [1].

В качестве численной схемы решения системы интегральных уравнений используется метод кусочно-постоянных аппроксимаций и коллокаций [1, 2]. Поверхность интегрирования аппроксимируется системой ячеек, на каждой из которых неизвестная функция считается постоянной. Выбираются точки коллокации, в которых записываются уравнения, и задача сводится к системе линейных алгебраических уравнений относительно неизвестных магнитных и электрических поверхностных эквивалентных токов.

После решения системы, с помощью найденных поверхностных токов можно рассчитать различные характеристики. В рассматриваемой задаче интерес представляет сечение экстинкции, определяемое формулой

$$\vec{\sigma}_{ext} = -\frac{1}{k_1} Im \sigma(\vec{k}), \quad (2)$$

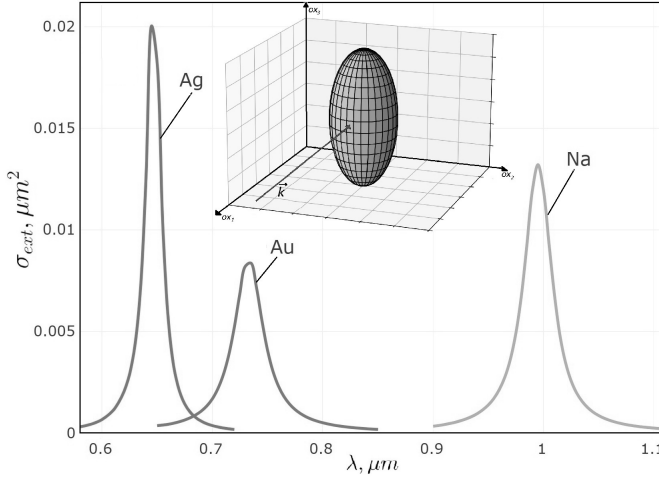
где $\vec{k}$ - волновой вектор, определяющий направление распространения волны, $\sigma(\vec{\tau})$ - эффективная площадь рассеяния в направлении вектора $\vec{\tau}$:

$$\begin{aligned} \sigma(\vec{\tau}) = \frac{1}{4\pi |\vec{E}_{inc}(x)|} \sum_{j=1}^{N_{cells}} e^{-ik_1(\vec{\tau}, x_j)} \left[\frac{i}{\omega \varepsilon_1} k_1^2 \left(\vec{j}_{E,j} - \vec{\tau} \left(\vec{j}_{E,j}, \vec{\tau} \right) \right) + \right. \\ \left. + ik_1 \left[\vec{\tau} \times \vec{j}_{\mu,j} \right] \right] S_j. \end{aligned} \quad (3)$$

На рисунке приведены зависимости сечения экстинкции от длины падающей волны для золотого, серебряного и натриевого сфероидов, вытянутых по оси Ox_3 с соотношением полуосей Ox_1 :

$Ox_2 : Ox_3 = 1 : 1 : 3$. Волновой вектор $\vec{k}$ направлен вдоль Ox_1 .

Иллюстрации



Сечение экстинкции для вытянутых металлических сферидов с эквивалентным радиусом 10нм, расположенных в диоксиде кремния

Можно наблюдать влияние материала наночастицы на ее оптические свойства. Сильнее всего по абсолютной амплитуде ПР проявился у серебряной частицы. Ярко выраженный резонансный пик связан с высокой проводимостью этого материала и меньшими потерями, что делает серебро очень эффективным в оптических приложениях.

Литература

1. Davydov, A.G., Zakharov, E.V., and Pimenov, Yu.V., Hypersingular Integral Equations for the Diffraction of Electromagnetic Waves on Homogeneous Magneto-Dielectric Bodies, Comput. Math. Model., 2006, vol. 17, no. 2, pp. 97–104.
2. Захаров Е.В., Сетуха А.В., Безобразова Е.Н. Метод гиперсингулярных интегральных уравнений в трехмерной задаче дифракции электромагнитных волн на кусочно-однородном диэлектрическом теле. Дифференциальные уравнения. 2015. Т. 51. № 9. С. 1206.