

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ КВАНТОВЫХ ЭФФЕКТОВ В ПЛАЗМОННЫХ НАНОСТРУКТУРАХ МЕТОДОМ ДИСКРЕТНЫХ ИСТОЧНИКОВ

Арьянова Анна

Студент

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

E-mail: annaaryanova@gmail.com

Научный руководитель — Лопушенко Владимир Васильевич

Поверхностные плазмоны (ПП) представляют собой коллективные колебания свободных электронов на границе раздела внешней среды и металла, как правило, возбуждаемые светом видимого и инфракрасного спектра. Благодаря явлению плазмонного резонанса поверхностные плазмоны нашли широкое практическое применение. В случае локализованных ПП, возникающих в металлических наночастицах, наблюдаются поверхностные квантовые эффекты, не учитываемые в классической теории Максвелла [2] и оказывающие влияние на характеристики резонанса.

В работе рассмотрена задача дифракции плоской р-поляризованной электромагнитной волны на бесконечном плазмонном цилиндре кругового сечения. Для описания квантовых эффектов использована модель мезоскопических граничных условий с параметрами Фейбельмана, предложенная в [4]. Идея этого подхода состоит в том, чтобы дополнить классические граничные условия с помощью функций поверхностного отклика, называемых параметрами Фейбельмана. Классические граничные условия для рассматриваемой задачи — условия непрерывности касательных компонент полей на поверхности цилиндра — имеют вид:

$$\begin{aligned}\vec{n} \times [\vec{H}_0 + \vec{H}_e] &= \vec{n} \times \vec{H}_i, \\ \vec{n} \times [\vec{E}_0 + \vec{E}_e] &= \vec{n} \times \vec{E}_i,\end{aligned}\tag{1}$$

в то время как мезоскопические граничные условия ставятся в следующей форме [1]:

$$\begin{aligned}\vec{n} \times [\vec{H}_0 + \vec{H}_e] &= \vec{n} \times \vec{H}_i, \\ \vec{n} \times [\vec{E}_i - \vec{E}_0 - \vec{E}_e] &= -d_{\perp} \vec{n} \times \nabla \{ \vec{n} \cdot [\vec{E}_i - \vec{E}_0 - \vec{E}_e] \},\end{aligned}\tag{2}$$

где d_{\perp} — параметр Фейбельмана, \vec{n} — внешняя нормаль к поверхно-

сти цилиндра, \vec{E}_0, \vec{H}_0 — поле падающей волны, \vec{E}_i, \vec{H}_i — поле внутри цилиндра, \vec{E}_e, \vec{H}_e — поле рассеянной волны.

Значение параметра d_{\perp} является комплексной величиной, вещественная часть которой соответствует центру масс электронного облака индуцированных зарядов, а мнимая описывает затухание Ландау.

Для численного исследования влияния квантовых эффектов был выбран метод дискретных источников (МДИ)—строгий численно-аналитический метод, основанный на представлении неизвестных полей в виде конечной линейной комбинации полей элементарных источников [3]. Для верификации результатов МДИ использовался метод собственных функций, позволяющий получить аналитическое решение задачи дифракции на цилиндре и заключающийся в представлении неизвестных полей в виде разложений в бесконечный ряд по собственным функциям. Выполнение граничных условий (1) или (2) достигается за счет вычисления неизвестных коэффициентов данных разложений.

Реализован расчет сечения рассеяния для различных длин волн падающего излучения и выполнен анализ влияния параметров задачи на амплитуду и положение плазмонного резонанса.

Литература

1. Еремин Ю. А., Лопушенко В. В. Влияние поверхностных квантовых эффектов на оптические характеристики пары плазмонных наночастиц // Оптика и спектроскопия. 2023. Т. 131. № 8.
2. Еремин Ю. А., Свешников А. Г. Влияние асимметрии геометрии слоистой частицы на подложке на оптические характеристики с учетом пространственной дисперсии // Вестн. Моск. Ун-та. Физ. Астрон. 2020. № 5. С. 90–96.
3. Еремин Ю. А., Свешников А. Г. Математические модели задач нанооптики и биофотоники на основе метода дискретных источников // Журнал вычисл. математики и мат. физики. 2007. Т. 47. № 2. С. 269–287.
4. A general theoretical and experimental framework for nanoscale electromagnetism / Y. Yang, D. Zhu, W. Yan, A. Agarwal, M. Zheng, J. D. Joannopoulos, P. Lalanne, T. Christensen, K. Berggren, M. Soljačić // Nature. 2019. N 576 (7786). P. 248–252.