

Редукция задачи рассеяния с точным учетом граничных условий на плоской и цилиндрической границе раздела

Аннотация

Работа относится к области вычислительной нанофотоники. Отчет содержит результаты прямого моделирования рассеяния света наноразмерным телом в неоднородном окружающем пространстве с резкими границами методом дискретных диполей с использованием функции Грина специального вида.

1 Состав коллектива и грантовая поддержка работы

- к.ф.-м.н. Бела́й Олег Владимирович, старший научный сотрудник лаборатории фотоники ИАиЭ СО РАН
- к.ф.-м.н. Перминов Сергей Вадимович, старший научный сотрудник лаборатории №31 ИФП СО РАН
- д.ф.-м.н., доцент Фрумин Леонид Лазаревич, ведущий научный сотрудник лаборатории фотоники ИАиЭ СО РАН
- д.ф.-м.н., профессор Шапиро Давид Абрамович, заведующий лабораторией фотоники ИАиЭ СО РАН

Работа выполнена в рамках проектов:

- грант Совета по грантам при Президенте РФ для поддержки ведущих научных школ РФ. Проект «Нелинейная спектроскопия и фотоника наноструктур, микроструктурированных волоконных световодов и атомов», гранты НШ-4447.2014.2 (2014–2015 годы), НШ-6898.2016.2 (2016–2017 годы), руководитель академик Шалагин А.М.;

- грант РФФИ 16-02-00511, «Рассеяние электромагнитной волны наночастицами на диэлектрической подложке» (2016–2017 годы), руководитель профессор Шапиро Д.А.;
- программа №24 Президиума РАН, проект 24.10 «Рассеяние неоднородной волны на периодическом массиве наночастиц» (2015–2017 годы), руководитель профессор Шапиро Д.А.

2 Научное содержание работы

2.1 Постановка задачи

Нанопотоника — это оптика, в основном, неоднородных (эванесцентных) волн. Традиционные подходы и приближения обладают ограниченной точностью при расчете оптических процессов с неоднородными волнами. В коллективе разработан метод, который подходит для рассеивателя (произвольных размеров), помещённого в стратифицированную среду; другими словами — для случая, когда вблизи рассеивателя находятся резкие границы, разделяющие области с разными электромагнитными свойствами. Метод базируется на использовании функции Грина специального вида (см. *O. V. Belai et al., Opt. Lett. 36, 954 (2011)*), позволяющей точно учитывать граничные условия. Данный подход позволяет строить как численные методы, так и аналитические. В нашей работе мы сравниваем результаты, полученные численным методом дискретных диполей (МДД) и аналитически — с помощью теории возмущений. Применительно к однородному пространству, МДД подробно описан в обзоре *M. Yurkin and A. Hoekstra, J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer 106, 558 (2007)*. Построение борновского ряда теории возмущений описано в нашей работе [1]

2.2 Полученные результаты

Была исследована 2-мерная задача рассеяния на цилиндрическом теле (а также массиве тел, см. [2]) вблизи границы раздела. На рис. 1 показаны результаты для случая, когда тело помещено в более плотной среде (стекло с диэлектрической проницаемостью 2.25). Расчет сделан для нескольких значений диэлектрической проницаемости менее плотной среды, в том числе — для близких значений параметров двух сред. В последнем случае результат мало отличается от рассеяния в однородной среде, для которого известно аналитическое решение. Заданное возбуждающее поле — совокупность двух плоских волн: падающая под углом 41 градус и отраженная от границы. Длина волны $\lambda = 1512$ нм. Радиус цилиндра 100 нм, минимальное расстояние от поверхности цилиндра до плоской границы 50 нм.

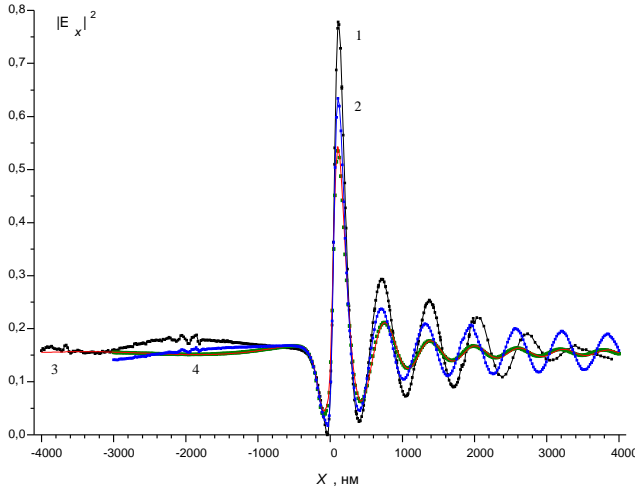


Рис. 1: Интенсивность x -компоненты электрического поля, $|\vec{E}_x|^2$, вдоль границы раздела при различных значениях проницаемости сопряженной среды: 1.0 (кривая 1), 1.6 (2), 2.2 (4, зелёная кривая). Кривая 3 (красного цвета) соответствует аналитическому решению в однородном пространстве.

На рис. 2 показана диаграмма поля рассеяния пары диэлектрических ($n = 1.5$)

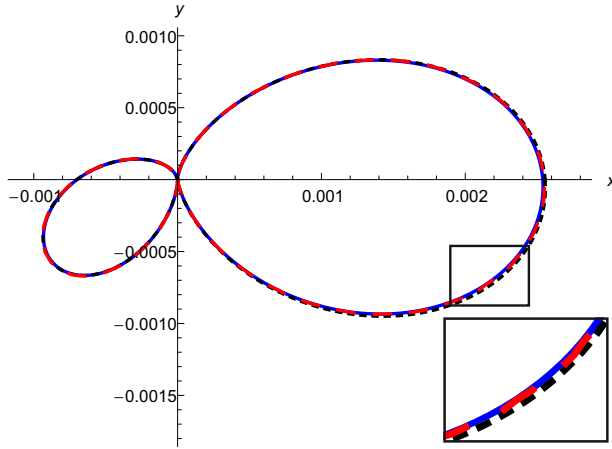


Рис. 2: Интенсивность магнитного поля, $|\vec{H}_{scatt}|^2$, рассеянных парой диэлектрических цилиндров на окружности, концентричной одному из цилиндров, радиусом 2λ . Синяя сплошная кривая — расчет методом граничных элементов, красная штриховая — МДД, черная пунктирная — 3-е борновское приближение.

цилиндров, радиусом 100 нм, центры которых находятся на расстоянии 300 нм друг от друга (см. [1]). Представлено сравнение расчетов, сделанных в борновском приближении и численно — методами дискретных диполей и граничных элементов. Длина волны возбуждающего света $\lambda = 1500$ нм.

2.3 Эффект от использования кластера

Решаемые задачи предъявляют высокие требования как к размеру оперативной памяти, так и скорости вычислений. Характерный размер матрицы СЛУ составлял ~ 30000 , что требует ~ 16 Гбайт для её размещения. Кроме того, для нахождения каждого элемента матрицы требовалось численное вычисление нескольких интегралов, которое было эффективно распараллелено в разных потоках с использованием OpenMP. При выполнении вычислений использовалось также и естественное распараллеливание описанной задачи (на уровне процессов), обеспеченное взаимной независимостью расчетов для разных значений параметров. В целом, использование вычислительного кластера было определяющим для успешного выполнения поставленной задачи.

Перечень публикаций

- [1] A. S. Bereza, A. V. Nemykin, S. V. Perminov, L. L. Frumin, and D. A. Shapiro, “Light scattering by dielectric bodies in the born approximation,” *Phys. Rev. A* **95**, 063839 (2017).
- [2] A. I. Nemykin, S. V. Perminov, L. L. Frumin, and D. A. Shapiro, “Excitation of a plasmon resonance in metal cylinders by an evanescent wave,” *Quantum Electronics* **45**, 240 (2015).