

ОТЗЫВ

официального оппонента кандидата физико-математических наук Владимировой Юлии Викторовны на диссертацию Забкова Ильи Васильевича «Оптические свойства одномерных и двумерных плазмонных наноструктур», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 лазерная физика.

Диссертация соискателя Забкова Ильи Васильевича посвящена исследованию оптических свойств плазмонных наноструктур, а именно линейной цепочки металлических наночастиц, димера с распределенной компенсацией потерь, шара, сделанного из кирального материала, а также периодической решетки отверстий сложной формы в металлической пленке.

В связи с активным развитием плазмоники и фотоники в последнее время тематика диссертации является чрезвычайно актуальной. С помощью резонансов, имеющихся в плазмонных структурах, можно добиться высокой эффективности управления параметрами электромагнитного излучения. В частности, можно эффективно влиять на параметры излучения атомов или молекул, что важно для множества задач: флуоресцентной спектроскопии, создания наноразмерных источников излучения и пр. Значительная часть диссертации посвящена исследованию влияния собственных мод плазмонных наноструктур на скорость спонтанного распада двухуровневых систем, что является общепринятым приближением для описания излучения атомов и молекул.

Диссертация изложена на 169 страницах и состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы, содержащего 160 наименований. Автореферат достаточно полно отражает содержание диссертации.

Во введении хорошо изложена актуальность, новизна, достоверность и практическая ценность полученных результатов. Также обсуждаются цели и задачи исследования, приведены положения, выносимые на защиту, и основные научные результаты.

Первая глава является обзором литературы по теме диссертации, который дает хорошее введение в тему исследования и показывает место рассматриваемых задач среди современных исследований.

Вторая глава посвящена оптическим свойствам наноразмерного шара, сделанного из кирального материала. Киральность описывается с помощью материальных уравнений Друде-Борна-Федорова. Автором разработан подход для численного моделирования конечных структур, сделанных из кирального материала и имеющих произвольную форму. Аналитически получена и

подробно исследована структура собственных мод шара. Численно решена задача о взаимодействии излучения киральной молекулы с киральным шаром. Показано, что скорость распада киральной молекулы (описываемой как сумма электрического и магнитного дипольных моментов) зависит от параметра киральности шара. Показано также существенное влияние шара на диаграмму излучения молекулы.

В третьей главе исследуется задача о собственных модах двух металлических частиц, одна из которых является поглощающей, а другая усиливает электромагнитное излучение. Сначала рассмотрена модельная двумерная задача. Для неё получено аналитическое решение и показано, что собственные моды могут существовать как в случае РТ-симметричного распределения диэлектрической проницаемости, так и в случае асимметричного распределения. Далее рассмотрена более реалистичная геометрия – система, состоящая из двух шаров. С помощью численного моделирования показано, что моды с асимметричным распределением потенциала существуют и для этой системы.

Четвертая глава посвящена цепочке металлических сфер. Получено аналитическое решение для собственных мод в квазистатическом приближении. Изучена структура возникающих собственных мод и показано существование мод нового типа с высокой локализацией поля в зазоре между шарами. Изучение влияния запаздывания проведено с помощью численного моделирования методом конечных элементов. Исследованы границы применимости квазистатического приближения для мод, имеющих осевую симметрию относительно главного направления цепочки. Также предложен способ решения задачи о возбуждении периодических систем точечным диполем. Показано, что собственные моды цепочки шаров позволяют существенным образом увеличить скорость спонтанного распада электрического диполя.

В пятой главе рассмотрена конверсия поляризации с помощью периодической решетки отверстий киральной формы в золотой пленке. Показано, что в случае, когда в системе имеются ненулевые дифракционные порядки, в них можно получить эффективную конверсию поляризации. При этом рассмотрена конверсия волны как с круговой, так и с линейной поляризацией. Показано, что такая система обладает сильным циркулярным дихроизмом.

В Заключении кратко сформулированы основные результаты работы. Результаты диссертационной работы опубликованы в 4 статьях в ведущих научных журналах, индексируемых в международной базе Web of Science, и являются в достаточной мере обоснованными.

Автором проведено множество проверок полученных им результатов. Так, показано, что аналитическое решение для линейного кластера шаров, полученное в квазистатическом приближении, сводится к известному

дипольному приближению в случае, когда расстояние между сферами большое. Также показано хорошее совпадение с результатами численного моделирования для случая шаров, имеющих маленький радиус. Структура мода димера с распределенной компенсацией потерь, состоящего из двух шаров, качественно совпадает для двух независимых решений: аналитического решения для собственных мод, полученного в рамках диссертации, и решения задачи о распаде диполя, расположенного вблизи такого димера, полученного ранее и приведенного в литературе. Для периодической решетки киральных отверстий показано, что в случае симметричных диэлектриков конверсия волны с круговой поляризацией в главном дифракционном порядке отсутствует, как и должно быть для структур, имеющих двумерную киральность. Все это подтверждает достоверность полученных автором результатов.

Диссертация написана ясным и четким языком. Автор продемонстрировал хороший уровень аналитических и численных исследований и умение структурированно излагать свои мысли. Исследование носит законченный характер и вносит важный вклад в изучение оптических свойств плазмонных наноструктур. Сопоставление с литературными данными показывает, что все приведенные решения получены впервые, и поэтому новизна работы не вызывает сомнений.

В качестве недостатков можно отметить разнородность исследованных задач, посвященных различным вопросам плазмоники. Некоторый объем материала допускает исключение из диссертации с целью получения более однородной работы. Как следствие большого объема автор не включил подробное обсуждение структуры собственных мод линейного кластера в Главу 4, которое однако есть в опубликованной по этой теме статье. В Главе 2 недостаточно подробно описано, каким образом производилась модификация программы COMSOL, позволяющая моделировать киральные структуры произвольной формы. Также в этой главе был введен коэффициент направленности излучения $D(\theta, \varphi)$, значения для которого, однако, не были приведены далее. В Главе 3, несмотря на использованное квазистатическое приближение, были рассмотрены частицы с радиусом 50 нм, для которых, как это было показано в Главе 4, запаздывание оказывает существенное влияние. Приведенное в Главе 5 качественное объяснение возникающего эффекта конверсии поляризации не следует очевидным образом из полученных численных результатов.

Указанные недостатки не умаляют общей высокой оценки проведенного исследования. Считаю, что диссертационная работа «Оптические свойства одномерных и двумерных плазмонных наноструктур» удовлетворяет требованиям Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ № 842 от 23 сентября 2013 г, а сам Забков

Илья Васильевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 – лазерная физика.

Официальный оппонент

Научный сотрудник

Международного учебно-научного лазерного центра

МГУ имени М.В.Ломоносова,

кандидат физико-математических наук

Владимирова Юлия Викторовна

Ю. В. Владимирова

Адрес: Ленинские горы, д. 1, стр. 2, Москва, 119991

Телефон: +7 (495) 939-51-73

email: yu.vladimirova@physics.msu.ru

21.09.2017

Подпись Владимировой Юлии Викторовны заверяю

Проректор МГУ имени М.В. Ломоносова

доктор физико-математических наук,

профессор

Федянин Андрей Анатольевич

А.А. Федянин



Список основных работ кандидата физико-математических наук Владимировой Юлии Викторовны по теме защищаемой диссертации в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет:

- 1 Vladimirova Y. V., Chubchev E.D., Zadkov V.N., **Resonance fluorescence of a two-level quantum emitter near a plasmonic nanoparticle: role of the near-field polarization** // Laser Phys. – 2017. – Vol. 27, № 2. – P. 25901.
- 2 Chubchev E.D., Vladimirova Y. V., Zadkov V.N., **Near-field polarization of a plasmonic prolate nanospheroid in a Gaussian beam** // Laser Phys. Lett. – 2015. – Vol. 12, № 1. – P. 15302.
- 3 Pastukhov V.M., Vladimirova Y. V., Zadkov V.N., **Photon-number statistics from resonance fluorescence of a two-level atom near a plasmonic nanoparticle** // Phys. Rev. A. – 2014. – Vol. 90, № 6. – P. 63831.
- 4 Chubchev E.D., Vladimirova Y. V., Zadkov V.N., **Controlling near-field polarization distribution of a plasmonic prolate nanospheroid by its aspect ratio and polarization of the incident electromagnetic field** // Opt. Express. – 2014. – Vol. 22, № 17. – P. 20432.
- 5 Arakcheev V.G., Bekin A.N., Vladimirova Y. V., Minaev N. V., Morozov V.B., Rybaltovskii A.O., **Synthesis and characterization of silver nanoparticles in a nanoporous glass** // Moscow Univ. Phys. Bull. – 2014. – Vol. 69, № 4. – P. 330–335.
- 6 Yanyshchev D.N., Balykin V.I., Vladimirova Y. V., Zadkov V.N., **Dynamics of atoms in a femtosecond optical dipole trap** // Phys. Rev. A. – 2013. – Vol. 87, № 3. – P. 33411.