

УТВЕРЖДАЮ

Директор
Федерального государственного
бюджетного учреждения науки
Института спектроскопии
Российской академии наук
д. ф.-м. н., профессор



Задков В. Н.

«21» сентября 2017 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу 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.

Развитие технологий изготовления и исследования наноструктур привело к значительной миниатюризации компонентной базы оптических устройств, которые традиционно не могли иметь размер, меньший длины волны. Эта миниатюризация открыла возможность для создания оптических устройств нового поколения, в основе которых будет лежать эффективное управление излучением одиночных атомов или молекул. Важным эффектом, который необходимо при этом учитывать, является эффект Парселла – влияние нанокружения на скорость спонтанной релаксации излучающей системы. Диссертация Забкова И.В. посвящена изучению влияния одномерных и двумерных плазмонных систем на эффект Парселла. Рассмотрены такие геометрии, как киральная сфера, димер с распределенной компенсацией потерь, линейный кластер металлических шаров. Эффективное управление параметрами излучения атомов важно для создания источников одиночных фотонов, что является важным элементом для создания, например, квантовых компьютеров. Кроме того, управление спонтанным распадом молекул и, следовательно, их флюоресценцией важно для повышения чувствительности биологических сенсоров.

С другой стороны, создание компактных поляризаторов также является важным направлением развития биологических и информационных технологий. Для этих целей Забковым И.В. предложена идея использовать периодические решетки с периодом, немного большим длины волны. Кроме того, изучение оптических свойств линейного кластера металлических

наноразмерных шаров интересно с точки зрения их использования в качестве волноводов. Таким образом, задачи, рассмотренные в диссертации, являются актуальными.

Диссертация состоит из введения, 4-х глав, заключения и списка литературы из 160 наименований. В автореферате адекватно отражено содержание диссертации.

Во введении обсуждается актуальность и новизна результатов, их достоверность и практическая ценность. Также приводятся цели исследования и положения, выносимые на защиту.

Первая глава представляет собой обзор литературы. Она состоит из нескольких частей. Первая и вторая части обзора посвящены истории изучения циркулярного дихроизма и киральности, третья – теории спонтанного распада квантовых излучателей. В четвертой части подробно проанализированы работы по созданию устройств для управления поляризацией света с помощью метаматериалов и метаповерхностей. В пятой части описываются основные свойства оптических систем с распределенной компенсацией потерь, имеющих РТ-симметрию. И наконец, шестая часть посвящена истории изучения оптических свойств линейного кластера металлических шаров.

Вторая глава посвящена изучению собственных колебаний сферической частицы, сделанной из кирального материала. Также с помощью методов численного моделирования решается задача об излучении киральной молекулы, расположенной вблизи этой частицы. Киральная среда описывается с помощью эффективных материальных уравнений. Показано, что за счет взаимодействия молекулы с различными собственными модами частицы скорость спонтанного распада будет увеличиваться, а диаграмма направленности изменяться. Показано, что энантиомеры молекул будут иметь различную скорость спонтанного распада.

В третьей главе исследуются димеры с распределенной компенсацией потерь. Известным примером таких систем являются системы, имеющие РТ-симметрию, которые, как было показано ранее, обладают рядом необычных свойств: нарушением РТ-симметрии при уменьшении константы связи между элементами и динамическими осцилляциями энергии. В отличие от используемого обычно подхода для теоретического исследования таких систем, теории взаимодействующих мод, в главе используются классические уравнения Максвелла. Найдены собственные колебания двумерного димера и показано, что кроме РТ-симметричных существует также и другой, новый тип мод. Для системы, состоящей из двух сфер и имеющей РТ-симметрию, получено аналитическое решение дисперсионного уравнения в квазистатическом приближении. Показано, что взаимодействие мод, имеющих различную мультипольность, приводит к образованию гибридной моды, существующей в широком пределе значений диэлектрической

проницаемости металла. С помощью численного расчета показано существование мод двух сфер в областях параметров, соответствующих модам нового типа, обнаруженным в двумерном димере.

Четвертая глава посвящена исследованию оптических свойств линейного кластера, состоящего из одинаковых металлических шаров. В рамках квазистатического приближения аналитически получено дисперсионное уравнение. Проведена классификация собственных колебаний и показано, что в случае, когда расстояние между шарами достаточно мало, в спектре возникает новый тип сильно локализованных колебаний. Показано, что для мод с $m=0$ запаздывание приводит к их смещению в красную область, и чем ниже мультипольность моды, тем сильнее смещение. Методами численного моделирования решена задача об излучении электрического диполя, расположенного вблизи бесконечного линейного кластера серебряных шаров, и показано, что взаимодействие с собственными колебаниями приводит к существенному увеличению скорости спонтанного распада для сфер малого радиуса. Обнаружен высокоамплитудный (по сравнению с другими) резонанс, являющийся результатом возбуждения большого числа мод, имеющих высокую мультипольность. Отмечено, что в связи с этим он может быть устойчив к разбросам геометрических параметров кластера, а также положения диполя, и поэтому является привлекательным с точки зрения эксперимента.

В пятой главе предложен новый подход к управлению поляризацией электромагнитной волны с помощью периодической решетки отверстий. Стандартно рассматриваются решетки с периодом, меньшим длины волны, и конверсия поляризации происходит только за счет формы отверстий. Показано, что использование решетки с периодом, большим длины волны, позволяет добиться конверсии поляризации в возникающих дифракционных порядках даже в случае, когда отверстия имеют круглую форму. Также показано, что использование отверстия в форме гамма-диона позволяет существенно усилить эффект преобразования поляризации. В результате найдены такие параметры системы, для которых поляризация света в главном и побочных дифракционных порядках будет круговой с противоположным вращением. Все полученные результаты являются в достаточной мере обоснованными.

Достоверность результатов диссертации подтверждается совпадением аналитических расчетов с результатами численного моделирования, а также их совпадением с более простыми аналитическими моделями, соответствующими предельным случаям и опубликованными в литературе. Результаты диссертации опубликованы в 4 статьях в высокоцитируемых зарубежных журналах и доложены на 8 международных конференциях.

Результаты исследований, проведенных Забковым И.В., представляют практический интерес. Они показывают принципиальную возможность

управления скоростью спонтанного распада атомов и молекул с помощью плазмонных наноструктур для создания компонентов оптических устройств нового поколения, в том числе для таких приложений, как передача и обработка квантовой информации и создание биологических сенсоров высокой чувствительности. Полученные в работе Забкова И.В. результаты могут быть рекомендованы для использования МГУ им. М.В. Ломоносова, ИТПЭ ФТИ им. А.Ф. Иоффе и других институтах РАН.

Диссертация не лишена недостатков:

1. Влияние запаздывания на собственные моды линейного кластера исследовано только для мод, имеющих осевую симметрию $m=0$. Случай $m=1$ также представляет большой интерес, так как из литературы известно, что в области световой линии решение с запаздыванием будет сильно отличаться от квазистатического.

2. Забков И.В. высказывает гипотезу о том, что обнаруженный им высокоамплитудный резонанс в спектре излучения диполя будет устойчивым по отношению к изменению положения возбуждающей системы. Эта гипотеза могла бы быть проверена в рамках разработанной программы, однако этого не было сделано.

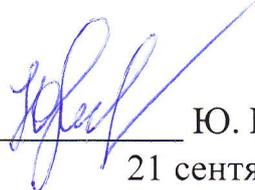
3. Утверждается, что обнаруженные в третьей главе моды двух сфер, имеющих асимметричное распределение диэлектрической проницаемости, аналогичны модам, найденным аналитически для двумерной системы. Это можно было бы подтвердить, дополнительно проанализировав структуру распределения поля внутри сфер и качественно сравнив её с двумерной системой.

4. Шар, сделанный из кирального материала, рассмотренный во второй главе, является сложно реализуемым с точки зрения эксперимента. Более реальной является геометрия двухслойного шара, внутренний слой которого металлический или диэлектрический, тогда как внешний слой состоит из киральных молекул.

Отмеченные недостатки являются скорее рекомендациями для будущих исследований и не носят принципиального характера, а также не влияют на достоверность и значимость полученных результатов и выводов. Диссертационная работа Забкова И.В. является завершённым исследованием, посвященным актуальным научным задачам, и содержит оригинальные, новые результаты. Она удовлетворяет всем требованиям Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ № 842 от 23 сентября 2013 г, а её автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 – лазерная физика.

Доклад Забкова И.В. заслушан на семинаре лаборатории спектроскопии наноструктур ИСАН 20.09.2017. Отзыв утвержден на семинаре лаборатории спектроскопии наноструктур ИСАН 20.09.2017.

Заведующий лабораторией
спектроскопии наноструктур
Института спектроскопии РАН,
кандидат физико-математических наук,
профессор МФТИ,
Лозовик Юрий Ефремович


Ю. Е. Лозовик
21 сентября 2017 года

Адрес: ул. Физическая, 5, г. Троицк, 108840
Тел. +7 (495) 851-08-81
email: lozovik@isan.troitsk.ru

Подпись заверяю
Ученый секретарь
Института спектроскопии РАН,
кандидат физико-математических наук,
Перминов Евгений Борисович


Е. Б. Перминов



Адрес: ул. Физическая, 5, г. Троицк, 108840
Тел. +7 (495) 851-02-21
email: perminov@isan.troitsk.ru

Список работ сотрудников ведущей организации по теме защищаемой диссертации в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет:

1. Gubin M.Y., Gladush M.G., Leksin A.Y., Arakelian S.M., Prokhorov A. V., **Formation of nonclassical states of vortex solitons in optical fibers with quantum dots** // Opt. Spectrosc. – 2016. – Vol. 121, № 5. – P. 729–735.
2. Huang C., Shi X., Ye F., Kartashov Y. V., Chen X., Torner L., **Tunneling inhibition for subwavelength light** // Opt. Lett. – 2013. – Vol. 38, № 15. – P. 2846.
3. Kartashov Y. V., Vysloukh V.A., Torner L., **Resonant Bloch-wave beatings** // Opt. Lett. – 2014. – Vol. 39, № 13. – P. 3826.
4. Melentiev P.N., Afanasiev A.E., Kuzin A.A., Gusev V.M., Kompanets O.N., Esenaliev R.O., Balykin V.I., **Split Hole Resonator: A Nanoscale UV Light Source** // Nano Lett. – 2016. – Vol. 16, № 2. – P. 1138–1142.
5. Melentiev P.N., Konstantinova T. V., Afanasiev A.E., Kuzin A.A., Baturin A.S., Balykin V.I., **Single nanohole and photoluminescence: nanolocalized and wavelength tunable light source** // Opt. Express. – 2012. – Vol. 20, № 17. – P. 19474.
6. 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.
7. Weimann S., Kartashov Y. V., Vysloukh V.A., Szameit A., Torner L., **Observation of asymmetric solitons in waveguide arrays with refractive index gradient** // Opt. Lett. – 2014. – Vol. 39, № 12. – P. 3694.
8. Yevdokimov Y.M., Skuridin S.G., Salyanov V.I., Semenov S. V., Sol'ev P.N., Valuev-Elliston V.T., Vereshchagin F. V., Chulkov D.P., Kompanets O.N., **On the possibility of determining anthracycline antibiotics in aqueous solutions using optical analytical system (biosensor)** // Opt. Spectrosc. – 2017. – Vol. 122, № 2. – P. 194–201.
9. Zezyulin D.A., Kartashov Y. V., Konotop V. V., **CPT-symmetric coupler with intermodal dispersion** // Opt. Lett. – 2017. – Vol. 42, № 7. – P. 1273.
10. Kartashov Y. V., Hang C., Huang G., Torner L., **Three-dimensional topological solitons in PT-symmetric optical lattices** // Optica. – 2016. – Vol. 3, № 10. – P. 1048.
11. Kotov O. V., Lozovik Y.E., **Dielectric response and novel electromagnetic modes in three-dimensional Dirac semimetal films** // Phys. Rev. B. – 2016. – Vol. 93, № 23. – P. 235417.
12. Efimkin D.K., Lozovik Y.E., **Resonant manifestations of chiral excitons in Faraday and Kerr effects in a topological insulator film** // Phys. Rev. B. – 2013. – Vol. 87, № 24. – P. 245416.