

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Крутянского Виктора Леонидовича **«Магнитоиндуцированные эффекты в оптическом и нелинейно-оптическом отклике металлических наноструктур»**, представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 – лазерная физика.

Диссертационная работа Крутянского В.Л. посвящена экспериментальному исследованию магнитоиндуцированных эффектов в линейном и квадратичном оптическом отклике металлических наноструктур. Научная новизна работы связана с исследованием новых типов объектов: магнитных структур, в которых возможно возбуждение локальных поверхностных плазмонов, а также структур, в которых реализуется неоднородное распределение намагниченности на субмикронных масштабах. Актуальность работы обусловлена тем, что, с одной стороны, магнитные наноструктуры находят применение в различных областях науки и техники, поэтому всестороннее изучение их свойств является востребованным. С другой стороны, генерация оптической второй гармоники является чувствительным методом исследования разнообразных свойств поверхностей и границ раздела centrosymmetric сред, а также наноструктур на их основе, поэтому с методологической точки зрения развитие и демонстрация возможностей методов нелинейной оптики для диагностики магнитных структур является важной задачей. В то же время, механизмы формирования нелинейно-оптического отклика в подобных системах изучены недостаточно.

Диссертация В.Л. Крутянского представляет собой законченное исследование, в котором развиты нелинейно-оптические методики, основанные на генерации оптической второй гармоники и позволяющие исследовать особенности неоднородных сред с характерными размерами в нанометровом диапазоне. В ходе работы был обнаружен ряд новых интересных эффектов, представляющих фундаментальное значение для оптики и физики твердого тела.

Работа состоит из введения, четырех глав, заключения и списка цитированной литературы. Первая глава является обзором литературы, три последующие главы описывают полученные автором оригинальные результаты. Во введении рассказано об актуальности исследований, отмечена научная новизна работы, практическая значимость полученных результатов, отражен личный вклад автора в выполненных исследованиях и сформулированы основные научные положения, выносимые на защиту.

В первой главе представлен достаточно подробный обзор экспериментальных и теоретических результатов из области магнитооптики и нелинейной оптики металлических наноструктур, который можно рекомендовать как хорошую методическую разработку для студентов и аспирантов, занятых в данной области. Основное внимание в главе уделено, во-первых, описанию основных механизмов, в том числе микроскопического, формирования магнитоиндуцированного нелинейно-оптического отклика. Во вторых, обсуждается оптический и магнитооптический отклик плазмонных наноструктур, приведен обзор экспериментальных работ в данной области. В третьих, подробно освещаются вопросы исследования оптического отклика структур с существенно неоднородной намагниченностью. Отдельное внимание уделено обзору

теоретических и экспериментальных работ, касающихся динамики процессов, определяющих оптический отклик в наноструктурах.

Во второй главе изложены оригинальные результаты по исследованию генерации второй оптической гармоники в структуре, представляющей собой массив никелевых наностержней в диэлектрической матрице (Al_2O_3). Проведенные автором расчёты спектров факторов локального поля, отвечающие модели вытянутых эллипсоидов, показывают, что в такой структуре может достигаться резонансное поведение оптического отклика, связанное с возбуждением локальных поверхностных плазмонов. При экспериментальном изучении спектральных зависимостей отклика на частоте второй гармоники было обнаружено усиление магнитоиндуцированной компоненты при совпадении частоты второй гармоники с частотой рассчитанного резонанса. Известно, что усиление нелинейно-оптических эффектов за счёт плазмонного механизма может достигать 10000 и более. В случае изучавшихся никелевых цилиндров наблюдаемое усиление значительно менее существенно в силу слабой добротности резонанса, связанной с большими потерями в никеле. Наиболее существенным результатом, представленным во второй главе, на мой взгляд, является то, что с применением методики генерации второй гармоники в магнитных структурах найден способ исследования слабых плазмонных резонансов, изучать которые другими методами затруднительно.

В третьей главе диссертации описаны результаты экспериментального исследования особенностей генерации второй оптической гармоники в структурах с субмикронными неоднородностями намагниченности. В работе рассматриваются два типа систем: слоистая структура из двух ферромагнитных слоев, разделенных немагнитной прослойкой, и планарный массив наночастиц кобальта, в которых возможно формирование контролируемого вихревого распределения намагниченности. Хочу отметить два существенных результата, описанных в данной главе. Первое. Существует непростая с точки зрения эксперимента задача – определение взаимодействия между слоями в слоистых магнитных системах. Мне кажется замечательным результатом диссертанта, которому удалось решить эту задачу с помощью использования метода генерации второй оптической гармоники. Это важный результат, несмотря на то, что схожие результаты уже получались магнитооптическими методами, для структур ферромагнетик/антиферромагнетик.

Второе. Автор разработал и успешно продемонстрировал возможности оптического метода определения вихревого состояния намагниченности (магнитного тороидного момента в отсутствие средней по объему намагниченности) в условиях, когда характерные размеры соответствующих магнитных областей оказываются меньше длины волны оптического излучения. Представленное в работе феноменологическое описание данного явления также представляет несомненный интерес и дает представление об основных механизмах, ответственных за генерацию второй оптической гармоники в структурах с вихревой магнитной структурой.

Представленные в этой главе результаты позволяют судить о том, что наряду с высоким уровнем экспериментального мастерства автор обладает и хорошей математической подготовкой. На это обращает внимание длина формул, приведенных в диссертации.

Четвертая глава посвящена экспериментальному изучению динамики оптически наведенной анизотропии в двумерной решетке частиц кобальта на кварцевой подложке. Данная глава представляется мне менее интересной, чем две предыдущие, однако и в ней содержится существенный результат, заключающийся в последовательном изучении динамики релаксации энергии системы, образованной планарным упорядоченным массивом магнитных наночастиц на кварцевой подложке, возбужденных мощным лазерным импульсом, а также динамики намагниченности и наведенной оптическим излучением анизотропии оптического отклика в широком диапазоне времен. Полученные экспериментальные результаты успешно объяснены диссертантом с применением модели, согласно которой отклик определяется четырьмя механизмами: на временах $\tau < 10$ пс возбуждением электронов импульсом накачки; при $20 < \tau < 400$ пс модуляцией наведенной в диэлектрике анизотропии акустическими модами металлических частиц; при $\tau > 500$ пс возбуждением собственных акустических мод периодической решетки; а также сверхбыстрым ($\tau < 1$ пс) размагничиванием структуры под действием лазерного импульса накачки с последующим восстановлением намагниченности при $\tau \sim 200$ пс.

Автореферат диссертации В.Л. Крутянского отражает научную новизну, практическую значимость и цели диссертационной работы, в нем кратко описаны основные полученные в работе результаты. Также приведен список публикаций автора в журналах (3 статьи в журнале Phys. Rev. B, статья в JOSA B, Известия РАН (серия Физическая) и Solid State Phenomena) и в сборниках тезисов. Содержание автореферата соответствует содержанию диссертационной работы.

В целом диссертация содержит целый ряд новых научных результатов как фундаментального характера, так и имеющих существенно методическую направленность, представляющих заметный интерес как для физики твердого тела, так и в области оптики. Считаю отзыв неполноценным, если не перечислить возникшие при чтении замечания:

1. При трактовке экспериментально наблюдавшихся эффектов автор ограничился применением феноменологического подхода. Для более глубокого понимания процессов, хотелось бы увидеть микроскопическую подоснову аналогично той, что приведена в обзоре литературы для ранее изученных аспектов формирования магнитооптического отклика.
2. К сожалению, при изучении слоистой магнитной структуры (глава 3) зафиксированное наличие взаимодействия между слоями оценено только качественно. Значительный интерес представляло бы определение величины взаимодействия, хотя это более сложная работа и замечание стоит рассматривать как пожелание к дальнейшей работе.

3. Автор обсуждает тороидный момент, однако не удалось найти в списке литературы отечественных авторов представлений о тороидном моменте в магнетизме (Копаев, Горбацевич, Тугушев).

Однако эти замечания носят скорее характер пожеланий и не подвергают сомнению высокую положительную оценку данной работы.

На основании вышеизложенного считаю, что диссертационная работа Крутянского В.Л. «Магнитоиндуцированные эффекты в оптическом и нелинейно-оптическом отклике металлических наноструктур» отвечает всем требованиям ВАК РФ и требованиям Положения о порядке присуждения учёных степеней в редакции Постановления №842 Правительства РФ от 24 сентября 2013 г., предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Крутянский Виктор Леонидович заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 (лазерная физика).



Аронзон Борис Аронович

Д.ф.-м.н. по специальности 01.04.07 –

Физика конденсированного состояния

Главный научный сотрудник

Куратовского комплекса НБИКС - технологий

НИЦ «Курчатовский институт»

Москва 123182 пл. Академика Курчатова д. 1

e-mail : aronzon_ba@nrcki.ru

Тел. 8(499)1961611

Подпись сотрудника НИЦ «Курчатовский институт» Аронзона Б.А. заверяю

Главный ученый секретарь

НИЦ «Курчатовский институт» к.ф.-м.н.



С.Ю. Стремоухов