

ОТЗЫВ официального оппонента
на диссертацию на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук Ромодиной Марии Николаевны
на тему: «Микромеханика магнитных частиц в лазерных ловушках и
магнитооптические эффекты при возбуждении блоховских поверхностных
волн»
по специальности 01.04.21 – «лазерная физика»

Диссертационная работа Ромодиной М.Н. посвящена исследованию взаимодействия между магнитными микрочастицами в лазерных ловушках, их поступательного и вращательного движения, управляемого лазерным излучением, возможности с помощью лазерного излучения магнитоуправляемого захвата микрочастиц фотонными кристаллами за счет генерации поверхностных блоховских волн. Тема работы актуальна по многим причинам, имеющим как научное, так и прикладное значение. Действительно, магнитные жидкости и изолированные магнитные микрочастицы находят непрерывно расширяющие сферы применения от тормозных жидкостей, амортизаторов, магнитоуправляемых демферов и затворов до биомаркеров и доставки лекарств. Физика магнитореологических жидкостей находится в стадии развития и применение новых лазерных методов к изучению их локальных свойств весьма перспективно. И в этом плане использование лазерных пинцетов, которые уже достаточно хорошо себя зарекомендовали в биомедицине, выглядит многообещающим. Возбуждение поверхностных волн в фотонных кристаллах известно достаточно давно, однако связанные с ними магнитооптические эффекты практически не изучены, тем более не исследовался вопрос о возможности использования этих эффектов для захвата микрочастиц, то есть для создания, по сути, нового типа лазерного пинцета, управляемого магнитным полем. Отсюда следует, что появление работ Ромодиной М.Н., на которых основана ее диссертация, было весьма важным и своевременным. Важным достоинством работы является решение новых задач как физики магнитных жидкостей, так и магнитооптики поверхностных волн, сочетание теоретических и экспериментальных исследований, использование современных

экспериментальных методик, детальный анализ эксперимента, что и определяет новизну работы и ее значимость.

Диссертационная работа представлена на 118 страницах машинописного текста и содержит 55 рисунков. Список литературы включает 106 ссылки. Структура рукописи состоит из введения, четырех глав, заключения, содержащего основные результаты и выводы, списка публикаций по теме работы и списка цитируемых источников. В первой главе приведён подробный обзор литературы. Вторая глава посвящена исследованию взаимодействия между двумя магнитными микрочастицами в лазерных ловушках при наличии внешнего магнитного поля. В третьей главе исследуется вращательное движение микрочастицы в лазерной ловушке и сила Магнуса. В четвертой главе рассмотрены магнитооптические эффекты при возбуждении поверхностной блоховской волны в магнитофотонном кристалле.

Не имея возможности в отзыве остановиться на обсуждении всех многочисленных новых результатов, полученных в работе, отмечу некоторые из них, имеющие наибольшее значение:

1. Теоретически и экспериментально исследовано влияние магнитного взаимодействия между магнитными микрочастицами в лазерных ловушках на их поступательное броуновское движение. Рассчитана кросс-корреляционная функция и показано, что даже если отсутствует проекция силы взаимодействия на выбранное направление, это взаимодействие приводит к корреляции смещений частиц, так как кросс-корреляционная функция, и следовательно связность движения микрочастиц, определяется не проекцией силы, а производной этой силы в выбранном направлении. Эксперимент выполнен на микрочастицах из полистирола с включениями частиц магнетита и позволил определить с высокой точностью магнитный момент микрочастицы, который достаточно трудно измерить другими методами.

2. Впервые исследовано влияние броуновского вращательного движения на движение микрочастицы в лазерной ловушке при приложении вращающего

магнитного поля. Продемонстрирован переход от синхронного к асинхронному движению. Это явление можно использовать для магнитореологических измерений параметров магнитных жидкостей.

3. Впервые исследована сила Магнуса, действующая на захваченную в оптическую ловушку микрочастицу при перемещении в потоке жидкости с малым числом Рейнольдса. Доказано, что в данном случае сила Магнуса связана с термофорезом, то есть возникновением градиента температуры за счет нагрева микрочастиц лазерным излучением. Строго говоря, при этом механизме впервые измеренную силу нельзя и называть силой Магнуса, так как в энциклопедиях с силой Магнуса отождествляется действие совсем других механизмов. Но термин введенный автором диссертации – термофоретическая сила Магнуса вполне ясен и точен.

4. Методом матриц распространения рассчитаны частотно-угловые спектры отражения света от одномерного магнитофотонного кристалла, состоящего из слоев висмут-замещенного ЖИГа и диоксида кремния. Найдены особенности, связанные с возбуждением поверхностных блоховских мод и волноводных мод, резонанс типа Фано за счет гибридизации s- и p-компонент этих мод, соответственно, и найдено, что фарадеевское вращение при возбуждении поверхностной блоховской волны может достигать 12 градусов.

5. Показано, что сила оптического захвата, действующей на диэлектрическую частицу размером 1 мкм в поле магнитоиндуцированной поверхностной блоховской волны, может достигать вполне достаточной величины для захвата частицы на поверхность магнитофотонного кристалла. Конечно, для этого нужны хорошие магнитофотонные кристаллы с сильной гирацией, но такие кристаллы стали доступны в самое последнее время.

По сути сделанных выводов замечаний у рецензента нет. Однако работа несвободна от недостатков:

1. Обзор достаточно полный и содержит всю необходимую информацию о состоянии решаемых задач. Однако, по каким-то причинам, в обзоре совсем не

дан анализ типов оптических ловушек и их характеристик, а также не рассмотрены причины Фано резонанса.

2. В главе 2 и 3 получены разные результаты для магнитных моментов микрочастиц. Это связывается с тем, что в главе 2 исследовался целый ряд частиц и результаты усреднялись, тогда как в главе 3 результаты даны для конкретно выбранных частиц. Но непонятно как средние значения могут в несколько раз превышать неусредненные значения. Потом, следовало бы привести данные о магнитных свойствах и размерах содержащихся в микрочастице из полистирола магнитных частиц. В диссертации отмечается только что это коммерческие частицы магнетита. Но их размер, коэрцитивная сила, доменная структура могут иметь важное значение для проведенного эксперимента.

3. При исследовании термофоретической силы Магнуса аргументация выглядит убедительно, получена линейная зависимость температуры жидкости около микрочастицы от мощности излучения, причем изменение температуры достигает 5 градусов (рис.46 б). Желательно было бы провести простую оценку этой температуры или подтвердить это изменение другими методами.

4. Диссертация написана ясно и хорошо оформлена. Однако, некоторые приближения не расшифрованы, и не обсуждена их применимость, как например, приближение Озеена, используемые поля достаточно малы, а неоднородность поля не указана, природа коэффициента $C_{\text{оре}}$ не описана, имеются и неудачные формулировки, как например, “сцепляют жидкость” (стр.15) или “вращательный момент света” (стр.31).

5. Надо сказать, что рассчитанная значительная величина фарадеевского вращения (12 градусов) безусловно важный и полезный результат, но для полноты картины следовало бы и привести это значение в сравнении с коэффициентом поглощения, то есть указать магнитооптическую добротность.

Как следует из самого характера сделанных замечаний, они касаются только стиля изложения и носят скорее характер пожеланий.

Полученные в работе результаты имеют большое научное значение для лазерной физики, магнитогидродинамики, магнитофотоники, а также большое практическое значение для разработки магнитореологических жидкостей, микроперемешивателей, микродигателей, биосенсоров, магнитооптических устройств и др. Поэтому результаты работы можно рекомендовать для ознакомления и использования в МГУ им. М.В.Ломоносова (г. Москва), Санкт-Петербургский, Уральский, Новосибирский и Тверской университеты, Воронежский технический университет, МИРЭА, Российский научный центр «Курчатовский институт» (г. Москва), Институт физики твердого тела РАН РФ (п. Черноголовка Московская обл.), ФТИ РАН РФ им. Иоффе (г. С-Петербург), Институт физики им. Л.В. Киренского СО РАН (г.Красноярск), Институт Теоретической и Прикладной Электродинамики РАН (Москва) и др. Результаты диссертации многократно докладывались на российских и международных конференциях и хорошо известны специалистам.

Автореферат и публикации автора в престижных научных изданиях точно и полностью отражают полученные в диссертационной работе результаты. Диссертация Ромодиной М.Н. посвящена актуальной теме, является завершенным научным исследованием, содержит ряд новых, важных в научном и практическом плане результатов, которые вносят значительный вклад в развитие методов лазерной физики применительно к микромеханике магнитных микрочастиц.

Указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В.Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 01.04.21 – «лазерная физика» (по физико-математическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В.Ломоносова, а также оформлена, согласно приложениям № 5, 6 Положения о диссертационном совете Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова.

Таким образом, соискатель Ромодина Мария Николаевна заслуживает присуждения ученой степени кандидат физико-математических наук по специальности 01.04.21 – «лазерная физика».

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры магнетизма, Физический Факультет, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский Государственный Университет имени М.В. Ломоносова»,

Грановский Александр Борисович

7 февраля 2018

Контактные данные:

тел.: +7(495) 939 47 87, e-mail: granov@magn.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация:

01.04.11 – Физика магнитных явлений

Адрес места работы:

119991 Москва, Ленинские горы, д.1 стр.2, МГУ им. М.В.Ломоносова,

Физический Факультет, Кафедра магнетизма

Тел.: +7 (495) 939-18-47; e-mail: perov@magn.ru

Подпись сотрудника Физического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова
А. Б. Грановского удостоверяю:

Декан физического факультета
МГУ им. М.В. Ломоносова,
профессор



Сысоев Н.Н.

февраля 2018