

ОТЗЫВ

официального оппонента к.ф.-м.н. Федотова Андрея Борисовича
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 Марии Николаевны Ромодиной, представленная на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, посвящена интересному и актуальному направлению современной физики - магнитооптике, связывающей магнитные и оптические свойства объектов, одновременно с применением оптических и магнитных полей для исследования. В качестве объектов исследования в диссертации применяются либо магнитные микрочастицы, либо структуру имеющие периодическую архитектуру, сравнимую с длиной волны света, в частности фотонные кристаллы, и обладающие магнитными свойствами.

Актуальность работы обусловлена новизной в части исследования особенностей движения и коррелированности взаимодействия магнитных микрочастиц в жидкостях, что является очень перспективным для биологических применений, в частности, создания микроскопических сенсоров, таких как локальные датчики вязкости и температуры жидкой среды. Область применения микроструктурированных магнитооптических объектов связана с возможностью управления свойствами новых миниатюрных устройств интегральной оптики.

Диссертационная работа М.Н.Ромодиной состоит из введения, четырех глав, содержит 118 стр., включает 55 рисунков и список литературы.

Первая глава является обзором литературы, посвященным анализу современного уровня в области исследований движения магнитных

микрочастиц в жидкостях, а также создания магнитооптических устройств. Здесь же приводится описание основных подходов, экспериментальных и численных методов, используемых в работе, и эта глава занимает значительный объем диссертации. Несмотря на достаточно разнообразную тематику представленных направлений, считаю, что автору удалось успешно отобразить основные тенденции развития научных исследований и областей магнитных микрочастиц и магнитооптических элементов, а также показать роль оптического пинцета, который является основным экспериментальным инструментом в данной диссертации.

В последующих трех главах изложены оригинальные результаты, полученные М.Н.Ромодиной.

Вторая глава посвящена теоретическому и экспериментальному определению корреляционных свойств движения и взаимодействия магнитных микрочастиц в оптических ловушках. Разработано теоретическое описание движения магнитных микрочастиц в лазерных ловушках при внешнем периодическом механическом воздействии. Основные результаты этой главы связаны с теоретическим и экспериментальным анализом влияния сил магнитного взаимодействия на связанность (коррелированность) поступательного броуновского движения пары магнитных микрочастиц, локализованных градиентными лазерными ловушками в жидкости. Также продемонстрирована и реализована методика измерения магнитного момента микрочастиц в оптическом пинцете с точностью до $10^{-15} \text{ А} \cdot \text{м}^2$.

Третья глава посвящена определению влияния броуновского вращательного движения на вращение магнитной микрочастицы во внешнем магнитном поле с помощью метода лазерного пинцета. Получены экспериментальные зависимости частоты вращения микрочастицы от частоты внешнего магнитного поля вблизи критической частоты перехода между синхронным и асинхронным режимами вращения. Переход между синхронным и асинхронным режимами вращения частиц имеет сглаженную форму без излома из-за наличия броуновского вращательного момента.

Полученные экспериментальные результаты согласуются с результатами выполненного численного моделирования вращения микрочастицы в присутствии броуновского вращательного движения. Также в данной главе исследована сила, действующая на вращающуюся магнитную микрочастицу в лазерном пинцете, природа которой, как показано в представленных исследованиях, носит термофоретический характер, и эта сила вносит существенный вклад в движение захваченной микрочастицы и изменяется в зависимости от температуры. Проведено количественное измерение термофоретической силы, величина которой достигает 40 фН, и это значение находится в хорошем согласии с теоретическими оценками.

В четвертой главе исследовано явление магнитооптического переключения блоховской поверхностной электромагнитной волны (ПЭВ) в одномерном магнитном фотонном кристалле (МФК). Возбуждение ПЭВ на поверхности МФК контролируется с помощью приложения внешнего магнитного поля благодаря фарадеевскому вращению проходящего через структуру света. Спектры коэффициента отражения и фарадеевского поворота поляризации света, отраженного от магнитофотонного кристалла, рассчитаны в рамках прямого решения уравнений Максвелла в периодической структуре МФК. Было продемонстрировано, что спектральная зависимость угла фарадеевского поворота имеет ассиметричную форму и определяется относительным положением резонансов блоховской поверхностной электромагнитной волны и волноводной моды, распространяющейся в МФК. Также в работе была проведена оценка возможности магнитооптического переключения блоховской поверхностной волны в одномерном магнитофотонном кристалле и осуществления оптического захвата с помощью поля магнитоиндуцированной блоховской поверхностной волны.

В целом после ознакомления с работой хотелось бы отметить ее исключительно высокий научный уровень. Результаты, полученные в диссертационной работе не вызывают сомнения с точки зрения их научной

значимости и достоверности. Кроме того, результаты работы опубликованы в 5 статьях в рецензируемых журналах и двух сборниках, неоднократно представлялись на международных и отечественных конференциях. Я бы также отметил, что работа является очень «плотной» как по научной ценности, так и по разнообразию направлений и методик, используемых в исследованиях. Автор продемонстрировала исключительно высокое владение как экспериментальными техниками (лазерный пинцет, измерения малых полей), так и методами теоретического анализа и численных вычислений. Таким образом, хотелось бы выразить мнение, что полученные результаты и уровень работы заслуживают самой высокой оценки. Необходимо отметить практическую значимость работы, которая состоит в возможном применении исследованных эффектов для разработки магнито-реологических жидкостей, микродвигателей, локальных датчиков свойств среды и других микроскопических устройств, основанных на движении магнитных микрочастиц, управляемых внешним магнитным полем. Значимость работы также заключается в потенциальной возможности создания перестраиваемых биохимических микросенсоров, основанных на управляемом возбуждении блоховских поверхностных волн в магнитофотонных кристаллах.

Также хотелось бы высказать ряд замечаний по тексту работы. При описании результатов по корреляционным измерениям связанного движения микрочастиц и эффектам при вращении магнитных микрочастиц в жидкостях, хотелось бы видеть описание конкретные путей применения и использования исследуемых эффектов в практических приложениях. Также в тексте приводятся утверждение о зависимости коррелированности движения микрочастиц от градиента поля, что по моему мнению, должно быть дополнено указанием пределом применимости данного утверждения (модели), поскольку на эти границы может повлиять, например, величина поля или ангармонический характер колебаний.

В разделах третьей главы, связанных с вращением микрочастицы в магнитном поле, важную роль играет влияние температуры на характер движений микрочастицы (термофоретические эффекты). Безусловно, автор уделяет огромное внимание этому фактору, но в измерениях не приведена локальность точности измерений и оценок. Кроме того, нельзя не обратить внимание на некоторую терминологическую разбалансированность, которая связана с использованием названия «эффекта Магнуса», который все же более употребим для описания характера движения вращающихся тел (или микрочастиц), связанных с изменением давления из-за различных скоростей потока в различных частях тела.

В последней главе представлена возможность магнитного управления процессом возбуждения поверхностной электромагнитной волны. Автор приводит расчетные и экспериментальные для определенной структуры МФК, однако, как видно из расчетов и экспериментальных данных глубина модуляция фарадеевского вращения в описанном случае является не слишком высокой, что в целом влияет на эффективность устройства на основе этого эффекта. Хотелось бы иметь какие-то соображения о возможности получения более высокой эффективности. Также с точки зрения практических приложений был бы полезно иметь информацию о быстродействии переключения ПЭВ. В третьей главе также присутствуют данные об асимметрии резонанса (форма резонанса Фано) в угловом спектре, что обеспечивается интерференцией блоховской и волноводной мод. Однако, в тексте указано лишь на возможную природу подобной асимметрии, хотя параметры резонанса Фано, могли бы дать более полную и инструктивную информацию о характере взаимодействия волн различной природы.

Однако, 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:

Кандидат физико-математических наук, доцент кафедры общей физики и волновых процессов физического факультета, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский Государственный Университет имени М.В. Ломоносова»,

Федотов Андрей Борисович

28 февраля 2018

Контактные данные:

тел.: +7 (495)939-39-59, e-mail: a.b.fedotov@physics.msu.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация: 01.04.21 – Лазерная физика

Адрес места работы:

119991 Москва, Ленинские горы, д.1 стр.2, МГУ им. М.В.Ломоносова, Физический Факультет, кафедра общей физики и волновых процессов
Тел.: +7 (495)939-1225; e-mail: enter@ilc.edu.ru

Удостоверяю:

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



Н.Н.Сысоев
05 марта 2018