

Министерство образования и науки Российской Федерации
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра физики твёрдого тела

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНЕРЦИОННЫХ СВОЙСТВ МОДУЛЯТОРА
ПОЛЯРИЗОВАННОГО ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ
МАГНИТНОЙ ЖИДКОСТИ**

АВТОРЕФЕРАТ ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ

студентки 2 курса 201 группы
по направлению 210601 «Нанотехнология в электронике»
факультета нано- и биомедицинских технологий
Кочневой Натальи Александровны

Научный руководитель

доцент, к.ф.-м.н.

должность, уч. степень, уч. звание

А.Э. Постельга

подпись, дата

инициалы, фамилия

Зав. кафедрой

профессор, д.ф.-м.н.

должность, уч. степень, уч. звание

Д.А. Усанов

подпись, дата

инициалы, фамилия

Саратов 2017

ВВЕДЕНИЕ

Ферромагнитные жидкости представляют собой коллоидные системы, состоящие из ферромагнитных или ферримагнитных частиц нанометровых размеров, находящихся во взвешенном состоянии в несущей жидкости. МЖ являются магнитоуправляемыми материалами, которые нашли широкое практическое применение в различных областях науки и техники. Магнитные жидкости обладают такими уникальными свойствами, как, например, управляемые магнитным полем текучесть и вязкость [1]. Важная особенность ферромагнитных коллоидов – это свобода поступательного движения магнитных частиц, за счет которой могут быть осуществлены структурные превращения, связанные как с изменением характера магнитного упорядочения, так и с пространственным расположением частиц в слое жидкости. Данное свойство отличает магнитные жидкости от множества известных магнитных систем. Свойства и структурное состояние малых частиц, а также их взаимодействие во внешних полях определяют магнитооптические, магнитомеханические и электрофизические явления, наблюдаемые в магнитных жидкостях. Также магнитные жидкости, являясь наноструктурными материалами, способны усиливать магнитооптические эффекты в несколько раз [2].

Использование магнитных жидкостей на основе специальных поверхностно-активных веществ и смазочных масел обеспечивает эффективную смазку трущихся поверхностей. В различных технических справочниках имеются сведения о создании магнитножидкостных подшипников различного назначения. В частности, оборудование заводов текстильной промышленности с элементами станков с магнитной жидкостью существенно понижает уровень шума в производственных помещениях. Одна из компаний широко рекламирует высококачественные блоки с твердыми дисками памяти для современных вычислительных машин. Имеются сведения об использовании магнитножидкостных уплотнителей и

смазочных узлов в робототехнике, в газовых лазерах, в устройствах с волоконной оптикой и др [2].

При помещении магнитной жидкости в магнитное поле в объеме образуются агломераты ферритовых частиц [3] оси которых совпадают с силовыми линиями магнитного поля.

Авторами [3,4] наблюдалось анизотропное светорассеяние для различной ориентации вектора напряженности магнитного поля при рассеянии линейно поляризованного света на тонком слое магнитной жидкости, помещенном в магнитное поле, ориентированное вдоль границ плоского слоя. Рассматривалась параллельная и перпендикулярная взаимная ориентация внешнего магнитного поля и электрической компоненты лазерного излучения.

Как показано, например, в [5,6], при приложении магнитного поля к магнитной жидкости, образуются нитевидные агломераты. Средняя длина агломератов магнитной жидкости в магнитном поле с индукцией 10 мТ составляла 38 мкм [6].

Возможность модуляции поляризованного излучения при прохождении через магнитную жидкость показана в работе [7].

В первом законе Ньютона раскрывается свойство инертности тел: «Всякое тело сохраняет свое состояние покоя или равномерного и прямолинейного движения до тех пор, пока внешние приложенные силы не изменят это состояние».

Другими словами, всякое тело сохраняет скорость, пока ее не изменят сторонние силы. Все тела сохраняют скорость неизменной при отсутствии внешних воздействий одинаково. Это свойство, не имеющее меры, и предлагается называть инерцией. Разные тела изменяют скорость под действием сил по-разному. Это их свойство, следовательно, имеет меру: его называют инертностью. Именно инертность и представляет интерес, когда надо оценить, как изменяется скорость.

Инертность — свойство физических тел, проявляющееся в постепенном изменении скорости с течением времени под действием сил.

Сохранение скорости неизменной в реальных условиях возможно только тогда, когда все внешние силы, приложенные к телу, взаимно уравновешены. В остальных случаях неуравновешенные внешние силы изменяют скорость тела в соответствии с мерой его инертности.

Целью данной работы является изучение инерционных свойств модуляции поляризованного оптического излучения при прохождении через тонкий слой магнитной жидкости, помещённой в магнитное поле.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Критический анализ литературы, посвящённой модуляторам оптического излучения.
2. Изучение свойств магнитной жидкости.
3. Исследование инерционных свойств композита в переменном магнитном поле

Выпускная квалификационная работа состоит из введения, трёх глав, заключения и списка использованных источников, включающего 56 источников. Общий объем квалификационной работы составляет 70 страниц, включая 17 рисунков.

1 Экспериментальные исследования по определению инерционных свойств магнитно-оптического излучения на основе магнитной жидкости

1.1 Описание эксперимента и используемых материалов

Целью данной работы являлось определение инерционных свойств модуляции интенсивности поляризованного излучения лазера при прохождении через магнитную жидкость при воздействии магнитного поля с изменяющимся направлением.

При параллельном расположении нитевидных агломератов, выстроенных вдоль вектора индукции внешнего магнитного поля, и электрической составляющей линейно поляризованного лазерного излучения, должно наблюдаться максимальное взаимодействие поля с поглощающими его энергию агломератами. Если агломераты расположены перпендикулярно электрической компоненте лазерного излучения, то поглощение энергии поля должно быть минимальным, если вдоль – максимальным.

Измерения проводились с помощью установки (рисунок 1), состоящей из источника лазерного излучения 1, прозрачной кюветы 2, полностью заполненной магнитной жидкостью, и регистрирующей системы 3.

Используемая в эксперименте магнитная жидкость на основе керосина, стабилизированная олеиновой кислотой, имела следующие параметры: средний диаметр магнетитовых частиц $d=5$ nm (частицы были получены химическим путем), объёмная доля твёрдой фазы $\varphi = 0.1$. Параметры магнитной жидкости определены в статье [9]. Авторами исследована возможность одновременного определения трех параметров магнитной жидкости: диэлектрической проницаемости, объёмной доли твердой фазы и диаметра частиц магнитной жидкости по температурной зависимости спектра отражения сверхвысокочастотного (СВЧ) излучения.

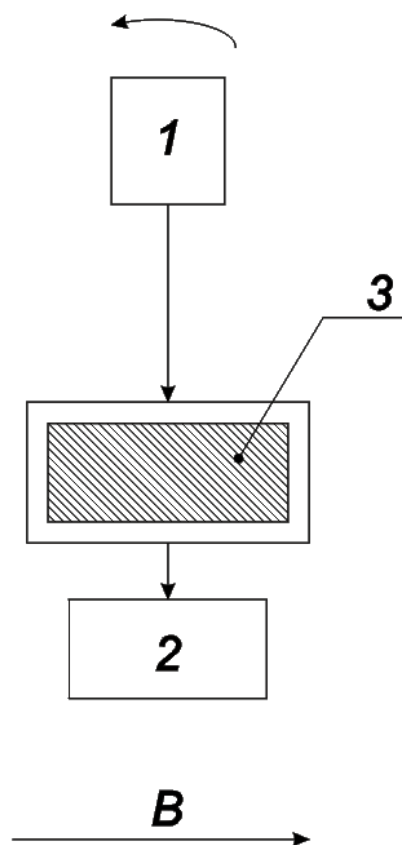


Рисунок 1 — Схема экспериментальной установки [8]

Суспензия из магнитной жидкости помещалась в ячейку между двумя стеклянными подложками, площадь поверхности которых составляла 2 см^2 , высота ячейки — 100 мкм .

Ячейки помещались в магнитное поле таким образом, чтобы вектор магнитной индукции был параллелен плоскостям кюветы. Источником магнитного поля служил электромагнит на основе катушек Гельмгольца. Величина индукции магнитного поля в области магнитной жидкости составляла 0.2 Т . Лазерное излучение направлялось перпендикулярно плоскости кюветы, прошедшее через кювету излучение регистрировалось фотодиодом, помещенным непосредственно под ячейкой. Сигнал с фотодиода регистрировался, оцифровывался и поступал для анализа в компьютер.

В зависимости от угла поворота лазера изменялась интенсивность прошедшего через ячейку лазерного излучения вследствие изменения

ориентации электрической компоненты лазерного излучения относительно нитей, образованных ферромагнитными частицами [8].

1.2 Схема экспериментальной установки

На рисунке 2 изображена экспериментальная установка. Источником переменного магнитного поля служил соленоид 1, питание которого модулировалось генератором звуковой частоты 2. В центр соленоида помещался образец 5. Лазерное излучение с длиной волны 650 nm от диода 3 после отражения от зеркала 4 проходило через образец и регистрировалось фотодиодом 6. Направление электрической компоненты лазерного излучения совпадало с вектором индукции магнитного поля. Прошедшее излучение регистрировалось фотодиодом.

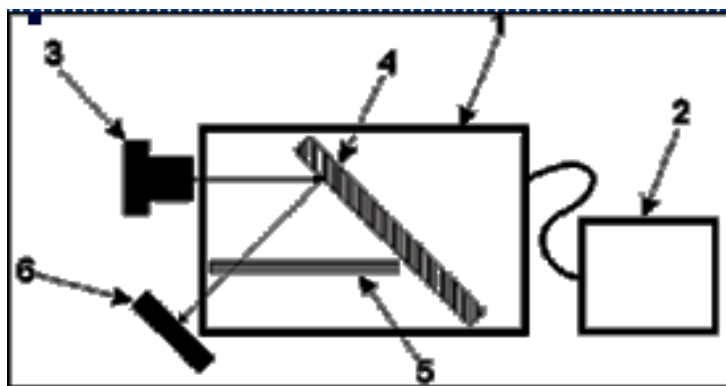


Рисунок 2 — Схема установки для определения граничной частоты изменения внешнего магнитного поля [8]

1.3 Результаты эксперимента и выводы

Используя дискретное преобразование Фурье, были построены спектры прохождения для каждой частоты внешнего переменного магнитного поля. По каждому спектру был рассчитан коэффициент Ω , равный отношению амплитуды спектральной составляющей на частоте внешнего магнитного поля к уровню шумов. На рисунке 3 изображена зависимость коэффициента Ω для образца с МЖ от частоты внешнего переменного магнитного поля.

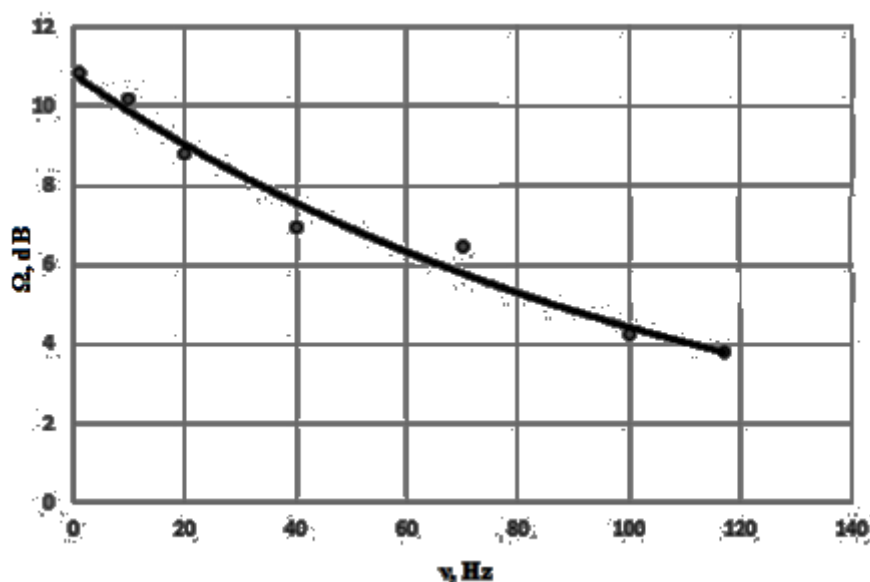


Рисунок 3 — Спектр отношения величины амплитуды спектральной составляющей лазерного излучения к уровню шума [8]

Для оценки инерционных свойств магнитной жидкости в изменяющемся магнитном поле была определена граничная частота, при которой наблюдалось изменение оптических свойств композита.

Исследовались спектры интенсивности излучения, прошедшего через образцы №1 — магнитная жидкость без нанотрубок, №2 — магнитная жидкость с нанотрубками с концентрацией 10 гр/л, №3 — магнитная жидкость с нанотрубками с концентрацией 40гр/л, при приложении переменного магнитного поля (рисунок 4). Была определена граничная частота, выше которой выраженные пики коэффициента прохождения в спектре исчезали. Это объясняется тем, что под действием силы броуновского движения, агломератам не хватает времени на переориентацию, следовательно, интенсивность лазерного излучения не изменяется.

Для всех образцов значение граничной частоты составило 117 Гц [8].

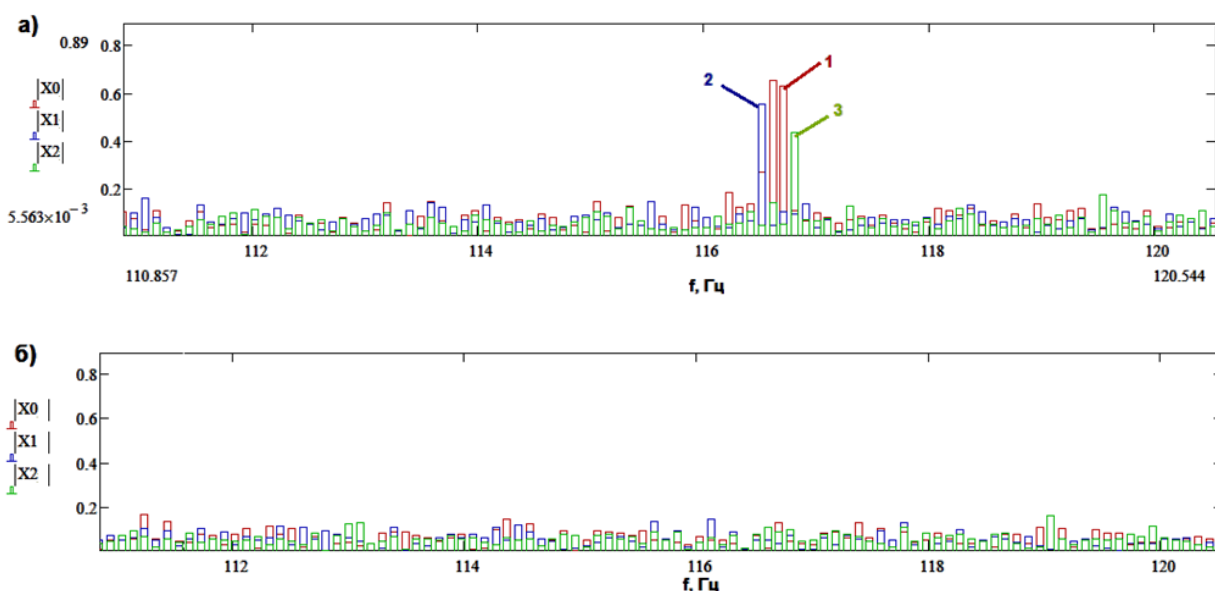


Рисунок 4 — Спектры интенсивности лазерного излучения в переменном магнитном поле при частоте изменения магнитного поля 117 Гц (а), при частоте 118 Гц (б).

На спектре при приложении переменного магнитного поля с частотой 117 Гц (рисунок 4а) пики отчетливо видны, в то время как при частоте 118 Гц (рисунок 4б) и больше пики отсутствуют. Таким образом, для суспензии из магнитной жидкости, помещённой в ячейку между двумя стеклянными подложками с площадью поверхности 2 см^2 , высотой ячейки - 100 мкм и величиной индукции 0.2 Т, направленной перпендикулярно образцу, модуляция может эффективно осуществляться до частот 117 Гц.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Магнитные жидкости, представляют большой интерес для исследователей, в различных областях науки и техники, включая биологию и медицину. Количество публикуемых работ, патентов и исследований о ферромагнитных жидкостях увеличивается с каждым годом.

В работе рассмотрены методы изготовления магнитной жидкости, такие как метод диспергирования (механическое измельчение частиц магнетита) и метод конденсации (частицы коллоидных размеров могут образовываться благодаря объединению отдельных молекул).

Кроме того, проведён анализ литературы, посвященный модуляторам оптического излучения и выявлены их типы.

В данной квалификационной работе были исследованы инерционные свойства магнитной жидкости. Определена граничная частота прикладываемого переменного поля (117 Гц), выше которой в спектре интенсивности образца, прошедшего лазерное излучение, ярко выраженные пики коэффициента прохождения исчезают.

Полученная зависимость интенсивности оптического излучения, прошедшего через слой магнитной жидкости, открывает возможность управления интенсивностью поляризованного излучения посредством магнитного поля с величиной индукции 0,2 Т, делает возможным создание покрытий, отражающих свет определенной поляризации.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Belotelov, V. I. Plasmon-mediated magneto-optical transparency / V. I. Belotelov, L. E. Kreilkamp, I. A. Akimov, A. N. Kalish // NATURE COMMUNICATIONS, DOI: 10.1038.ncomms3128.
2. Jessie Yao Chin Nonreciprocal plasmonics enables giant enhancement of thinfilm Faraday rotation / Jessie Yao Chin, Tobias Steinle, Thomas Wehler, Daniel Dregely // COMMUNICATIONS, DOI: 10.1038.ncomms2609.
3. Усанов, Д.А. Определение параметров магнитной жидкости по температурной зависимости сверхвысококачественного спектра отражения/ Д.А. Усанов, А.Э. Постельга, С.В. Алтынбаев// Журнал технической физики. 2013. Т. 83, № 11. С 54-57.
4. Усанов, Д.А. Дифракция света на агломератах слоя магнитной жидкости в магнитном поле/ Д.А. Усанов, А.В. Скрипаль, С.А. Ермолаев // Письма в ЖТФ. 1997. Т. 23. № 3. С. 64-67.
5. Усанов, Д.А. Дифракция света на агломератах слоя магнитной жидкости в магнитном поле/ Д.А.Усанов, А.В. Скрипаль// Письма в ЖТФ. 1997. Т. 23. № 17.С. 40-45.
6. Усанов, Д.А. Динамика агломерации наночастиц в магнитной жидкости при изменении магнитного поля/ Д.А. Усанов, А.В. Скрипаль, С.А. Ермолаев // Письма в ЖТФ. 1995. Т. 21. № 22. С 67-69.
7. Усанов, Д.А. Динамика агломерации наночастиц в магнитной жидкости при изменении магнитного поля/ А.Э. Постельга, Т.С. Бочкова, В.Н. Гаврилин // Письма в ЖТФ. 2016. Т. 86. № 3. С 30-36.
8. Усанов, Д.А. Модуляция поляризованного оптического излучения, проходящего через магнитную жидкость с нанотрубками, при воздействии магнитного поля с изменяющимся направлением/ Усанов Д.А., Постельга А.Э., Бочкова Т.С., Гаврилин В.Н., Игонин С.В.// Журнал технической физики. 2017.Т. 87, № 9.С 56-60.

9. Усанов, Д.А. Определение параметров магнитной жидкости по температурной зависимости сверхвысокочастотного спектра отражения/Д.А. Усанов, А.Э. Постельга, С.В. Алтынбаев// Журнал технической физики. 2013. Т. 83, вып. 11. С 64-69.