

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

Кафедра материаловедения, технологии  
и управления качеством

**МОДУЛЯЦИЯ ОПТИЧЕСКОГО ЛИНЕЙНО ПОЛЯРИЗОВАННОГО  
ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ ЧЕРЕЗ ТОНКИЙ СЛОЙ  
МАГНИТНОЙ ЖИДКОСТИ В ПОСТОЯННОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ**

**АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ**

студентки 4 курса 421 группы

по направлению 22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов»

факультета нано- и биомедицинских технологий

Кухарчик Анастасии Сергеевны

Научный руководитель

Доцент КФТТ, к.ф.-м.н.

должность, уч. степень, уч. звание.

личная подпись, дата

А.Э Постельга

инициалы, фамилия

Заведующий кафедрой

Профессор, д.ф.-м.н.

должность, уч. ст., уч. зв.

личная подпись, дата

С.Б Вениг

инициалы, фамилия

Саратов, 2016

## ВВЕДЕНИЕ

Магнитные жидкости (МЖ) впервые были получены в середине 20-го века на основе знаний из таких областей науки, как коллоидная химия, физика магнитных явлений и гидродинамика. 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. 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.

Идея создания оптических компьютеров, основанных на различных магнитооптических эффектах, является одной из самых актуальных на данный момент и приобретает все большую популярность. С одной стороны ее подкрепляет стремление людей ко всё большему увеличению скорости вычислений, с другой – впечатляющие возможности современных технологий. Для обработки и передачи информации посредством света, т.е. с помощью фотонов, необходимо уметь эффективно управлять ими. Отсутствие электрического заряда у фотонов, восполняется наличием ориентации их электромагнитного поля, т.е. поляризации, что дает большую надежду на успех.

В настоящее время контроль света посредством магнитного поля является одним из самых многообещающих методов модуляции интенсивности и поляризации света. Управление светом с помощью магнитного поля является одним из перспективных методов модуляции поляризации и интенсивности света [1, 2]. В работе [3] проводился анализ характера рассеяния излучения, падающего на тонкий слой магнитной жидкости. В [4] приводятся результаты наблюдения анизотропного светорассеяния для различной ориентации вектора напряженности магнитного поля при рассеянии линейно поляризованного света на тонком слое магнитной жидкости, помещенном в магнитное поле, которое было ориентировано вдоль границ плоского слоя.

Цель квалификационной работы бакалавра – показать возможности модуляции оптического излучения при прохождении через слой жидкого композита с нанометровыми включениями в постоянном магнитном поле.

В соответствие с целью были поставлены следующие задачи:

- критический анализ литературы, посвященной магнитной жидкости;
- обзор известных методов усиления магнитооптических эффектов;
- экспериментальные исследования оптических свойств композитов на основе магнитной жидкости.

В квалификационной работе использовалась магнитная жидкость, в качестве стабилизатора выступала олеиновая кислота. В качестве нанометровых включений для создания композита на основе магнитной жидкости использовались нанотрубки серии «Таунит» с разной концентрацией. Источником линейно поляризованного излучения служил лазерный диод с длиной волны 650 нм.

Квалификационная бакалаврская работа состоит из введения, 2 глав, заключения, списка использованных источников, включающего 31 источник. Общий объем квалификационной работы составляет 46 страниц, включая 16 рисунков и 3 таблицы.

## **1 Критический анализ литературы, посвященной магнитной жидкости**

В первой главе проведен критический анализ литературы, посвященной магнитной жидкости, а также проведен обзор методов, с помощью которых возможно усиление магнитооптических эффектов. Было установлено, что данных исследований относительно свойств и параметров магнитных жидкостей, полученных на данный момент, не достаточно для полного представления о характере взаимодействия объема магнитной жидкости с электромагнитным полем. Выдвинуто предположение о том, что возможна модуляция интенсивности поляризованного излучения при прохождении через тонкий слой магнитной жидкости, помещенной в магнитное поле.

## **2 Модуляция оптического линейно поляризованного излучения при прохождении через тонкий слой магнитной жидкости в постоянном магнитном поле**

### **Модуляция**

Модуляцией называется процесс изменения параметров колебаний высокой частоты. В управляющем или же модулирующем сигнале заложена передаваемая информация, а переносчиком информации является высокочастотное несущее колебание. То есть под модуляцией понимают кодирование колебания-информации в известное несущее колебание.

### **2.1 Экспериментальная часть**

В практической части использовалась магнитная жидкость на основе керосина, стабилизированная олеиновой кислотой. Основные параметры МЖ: средний диаметр частиц  $d = 5$  нм, объёмная доля твёрдой фазы  $\varphi = 0,1$ . Данная магнитная жидкость помещалась в прозрачную закрытую кювету (между двумя стеклянными подложками). Кювета была полностью заполнена магнитной жидкостью, для того, чтобы слой был абсолютно ровным, и магнитное поле не могло повлиять на его рельеф. Высота кюветы составляла 1 мм, площадь рабочей поверхностей составляла 2 см<sup>2</sup>. В

качестве источника линейно поляризованного излучения служил лазерный диод с длиной волны 650 нм.

Схема экспериментальной установки 1 представлена на рисунке 1. Линейно поляризованное излучение от лазерного полупроводникового диода (1) направлялось на ячейку с магнитной жидкостью (3) под углом  $30^\circ$  относительно нормали к поверхности. Значение интенсивности отраженного излучения регистрировалось фотодиодом (2). Непосредственно под ячейкой с магнитной жидкостью размещался постоянный магнит, закрепленный на подвижной части серводвигателя таким образом, чтобы направление индукции магнитного поля ( $B$ ) было параллельным плоскости поверхности магнитной жидкости. Величина индукции постоянного магнитного поля в области магнитной жидкости составляла 10 мТ. Ввиду инерционности образования агломератов частиц магнитной жидкости была экспериментально установлена максимальная частота вращения вектора магнитной индукции 16 мГц, обеспечивающая при вышеуказанном значении амплитуды магнитной индукции наблюдение максимальной глубины модуляции лазерного излучения. Сигнал с фотодиода регистрировался, оцифровывался и поступал для анализа в компьютер.

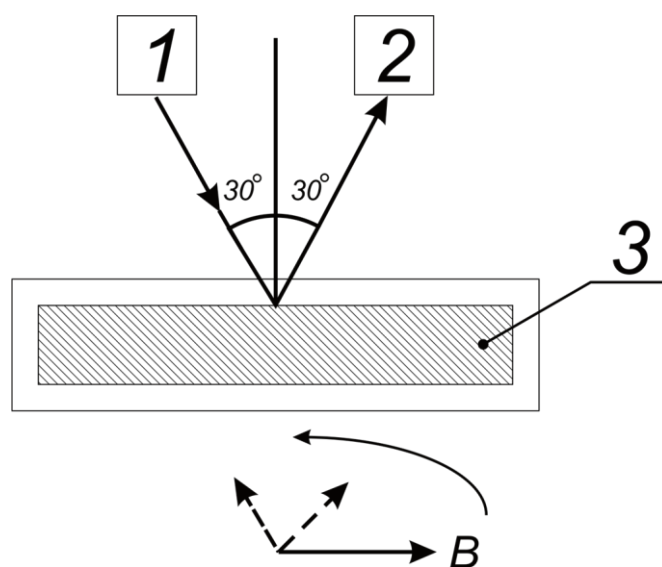


Рисунок 1 – Схема экспериментальной установки 1

1 – источник лазерного излучения, 2 – регистрирующая система, 3 – ячейка с магнитной жидкостью.

При приложении постоянного магнитного поля к магнитной жидкости, образуются нитевидные агломераты. Средняя длина агломератов магнитной жидкости составила 38 мкм.

Наблюдение периодической картины зависимости интенсивности отраженного излучения, регистрируемого фотодиодом от времени обусловлено тем фактором, что взаимодействие оптического излучения с магнитной жидкостью зависит от направления индукции магнитного поля относительно ориентации электрической компоненты излучения. При их совпадении наблюдается минимальное прохождение, а при их взаимно ортогональной ориентации наблюдается максимальное прохождение.

Глубина модуляции отраженного лазерного излучения вычисляется из соотношения:

$$M = \left( \frac{(I_{\phi max} - I_{\phi min})}{I_{\phi max}} \right) \cdot 100\% \quad (1)$$

где  $I_{\phi max}$  – значение максимального фототока,  $I_{\phi min}$  – минимальное.

В данном эксперименте глубина модуляции составила 13%.

Экспериментальная установка 2 изображена на рисунке 2. В ходе эксперимента на стеклянную кювету с тонким слоем магнитной жидкости 3 направлялось линейно поляризованное излучение лазера 1. Кювета помещалась в поле постоянного электромагнита, причем вектор магнитной индукции был параллелен плоскостям кюветы. Величина индукции магнитного поля в области магнитной жидкости составляла 0,2 Тл. Лазерное излучение направлялось перпендикулярно плоскости кюветы, прошедшее через кювету излучение регистрировалось фотодиодом 2, помещенным непосредственно под ячейкой. Изменение угла между электрической компонентой лазерного излучения и индукции магнитного поля осуществлялось поворотом лазерного диода относительно вертикальной оси.

При изменении угла поворота лазера изменялась интенсивность прошедшего через ячейку лазерного излучения. Такое изменение

происходило за счет образования агломератов. Интенсивность прошедшего излучения определялась взаимным расположением агломератов и вектора электрической компоненты лазерного излучения.

В работе [5] показано, что электропроводность композита, полученного путем добавления в магнитную жидкость нанотрубок, возрастает вдоль направления приложенного магнитного поля. Это обусловлено образованием каналов проводимости с участием нанотрубок, ориентированных вдоль вектора магнитной индукции. Поэтому измерения глубины модуляции проводились для трех суспензий: №1 – магнитная жидкость без нанотрубок, №2 – магнитная жидкость с нанотрубками серии «Таунит» с концентрацией 10 г/л, №3 – с концентрацией нанотрубок 40 г/л.

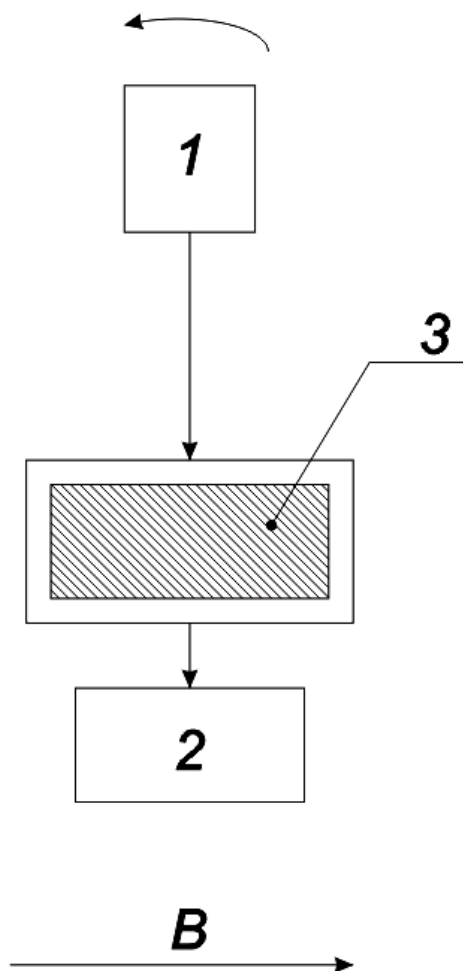


Рисунок 2 – Схема экспериментальной установки 2

1 – источник лазерного излучения, 2 – регистрирующая система, 3 – ячейка с магнитной жидкостью

На рисунке 3 приведена зависимость интенсивности прошедшего излучения, регистрируемого фотодиодом, от угла между вектором электрического поля лазерного излучения и вектора индукции магнитного поля.

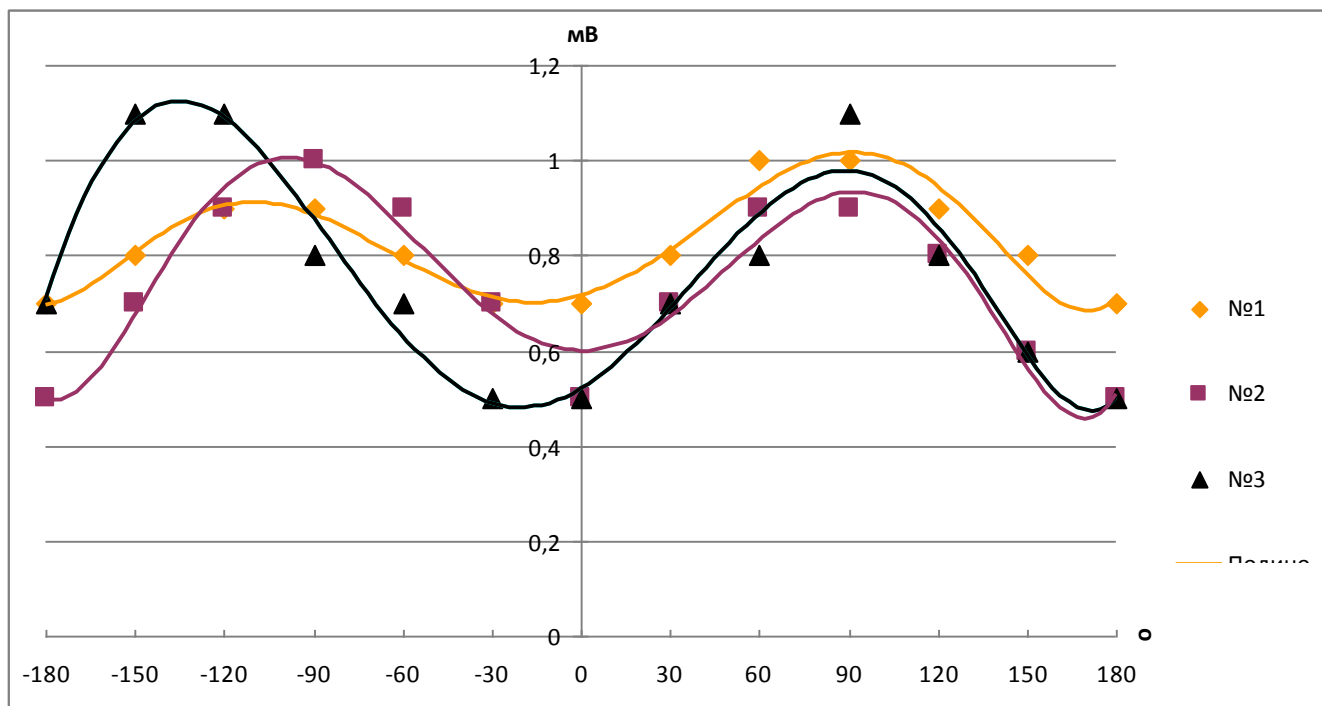


Рисунок 3 – График зависимости напряжения на фотодиоде от угла между вектором электрического поля лазерного излучения и вектора индукции магнитного поля.

Из графика видно, что минимально значение напряжения для всех трех случаев соответствовало параллельной ориентации векторов электрического поля и индукции магнитного поля. В свою очередь, увеличение концентрации нанотрубок приводило к уменьшению минимального значения.

Таким образом, было показано, что при прохождении лазерного луча через тонкий слой магнитной жидкости, находящегося в постоянном магнитном поле, возможна модуляция интенсивности поляризованного излучения. Также было продемонстрировано, что увеличение количества нанотрубок в несколько раз усиливает данный эффект.



## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Магнитные жидкости, представляют большой интерес для исследователей, в различных областях науки, включая биологию и медицину. Наука о МЖ, зародившаяся еще в 60 годы, развивается, а список возможностей и различного рода свойств таких коллоидов расширяется. Количество публикуемых работ, патентов и исследований о ферромагнитных жидкостях увеличивается с каждым годом.

В данной квалификационной работе был проведен критический анализ литературы, посвященной магнитной жидкости, а также обзор известных методов усиления магнитооптических эффектов.

В практической части были проведены экспериментальные исследования оптических свойств композитов на основе магнитной жидкости. Продемонстрирована возможность модуляции линейно поляризованного излучения при прохождении через тонкий слой магнитной жидкости в постоянном магнитном поле, а также доказано, что увеличение значения модуляции можно добиться путем увеличения концентрации наноразмерных включений – нанотрубок – в магнитной жидкости.

## **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 thin-film Faraday rotation / Jessie Yao Chin, Tobias Steinle, Thomas Wehler, Daniel Dregely // COMMUNICATIONS, DOI: 10.1038/ncomms2609.

3 Усанов, Д. А. Дифракция света на агломератах слоя магнитной жидкости в магнитном поле, параллельном плоскости слоя / Д.А. Усанов, А.В. Скрипаль, С.А. Ермолаев // Письма в журнал технической физики. 1997. Т. 23, № 3. С. 64–67.

4 Скрипаль, А. В. Анизотропное рассеяние поляризованного света в слое магнитной жидкости / А.В. Скрипаль, Д.А. Усанов // Письма в журнал технической физики. 1997. Т. 23, № 17. С. 7–10.

5 Павлова А. А., Доценко В. С., Сусяев В. И. // 25-я Международная Крымская конференция "СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии", 6–12 сентября 2015 г., Севастополь, Крым, Россия : КрыМиКо 2015. - Севастополь, 2015. т.Т. 2, секц. 8/1:Контроль и управление в технологических процессах. С. 964–965.