

**Региональная открытая конференция по научно-техническому
творчеству школьников «Лабиринты науки»**

Секция физики

Исследовательская работа

«Ферромагнитная жидкость и нанотехнологии»

Филиппов Станислав

Обучающийся 11 класса

Образовательный комплекс «Вектор №2»

Г. Ярославля

Научный руководитель –

Ягубянец Ирина Владимировна,

*Учитель физики и математики, Почётный работник общего образования
Российской Федерации.*

г. Ярославль, 2025

Содержание

Введение.....	3
Глава I. Что такое магнитная жидкость.....	4
1.1. Два типа магнитной жидкости.....	5
1.2. Свойства магнитной жидкости.....	5
1.3. Что представляет собой магнитная жидкость.....	7
1.4. Использование ПАВ-ов для создания ферромагнитной жидкости.....	8
1.5. Модель поведения магнитной жидкости в магнитном поле.....	10
Глава II. Структурная организация магнитных жидкостей.....	10
2.1. Магнитная жидкость с микрокапельной структурой.....	10
2.2. Квазитвердые структурные образования в магнитных жидкостях	11
2.3. Структурная самоорганизация магнитных жидкостей в электрическом поле.....	13
Глава III. Применение ферромагнитной жидкости (ФМЖ)	14
3.1. Сферы применения ферромагнитных жидкостей.....	14
Практическая часть.....	17
Заключение.....	19
Библиографический список.....	21

Введение

Я учусь в 11 классе, собираюсь после окончания школы поступать в технический вуз. Меня всегда увлекала физика, особенно современные её направления. С интенсивным развитием науки в последние десятилетия и стремительно ворвавшимся в научную лексику термином «нано», магнетизм наноразмерных объектов оказался едва ли не самой «горячей» наряду с фуллеренами и углеродными нанотрубками темой не только в научных журналах, но и на слуху едва ли ни у каждого человека.

Актуальность: Магнитные материалы и феномен магнетизма знакомы человечеству на протяжении давнего времени, и хорошо известно, какую роль играют магнитные явления в жизни современного человека. Магнитные наноматериалы, к которым относятся магнитные нанопорошки, молекулярные магниты, магнитные жидкости, обладают огромным потенциалом и несут в себе если не технологическую революцию, то множество важных фундаментальных открытий и перспективных технологических применений. В ряду магнитных наноматериалов большое место занимают ферромагнитные жидкости (далее - МЖ). Многолетний повышенный интерес к МЖ со стороны теоретиков и экспериментаторов, перспектива их широкого использования привели к тому, что к настоящему времени наука о магнитных жидкостях стала самостоятельной, чрезвычайно интересной и практически полезной областью исследований, находящейся на стыке физической химии коллоидов, физики магнитных явлений и магнитной гидродинамики.

Гипотеза: создать ФМЖ в домашних условиях возможно

Цель работы: создать ФМЖ

Задачи:

1. Проанализировать литературу по данной теме.
2. Изучить понятие ФМЖ, ее основные свойства, нанотехнологии, применяемые при использовании МЖ
3. Составить модель магнитной жидкости.
4. Провести эксперименты по получению магнитной жидкости. Получить фотографии необычных свойств магнитной жидкости.

Объект исследования: ферромагнитная жидкость

Предмет исследования: получение МЖ в домашних условиях и возможности применения магнитной жидкости.

Литературный обзор: мне интересными показались такие источники, как книга Фертмана «Ёж в стакане» и книга Такетоми С, Тикадзуми С. «Магнитные жидкости» (пер. с японского) доступно изложено строение и получение магнитных жидкостей. В них приведены разнообразные методы получения высоко намагниченных жидкостей. Много внимания уделено их техническому применению, как реализованному, так возможному. Интересно, что впервые магнитная жидкость была представлена миру после высадки американских астронавтов на Луну - её использовали как вакуумный герметизатор в шлемах космонавтов. Описаны физические методы применения и совершенствования вакуумных магнитожидкостных герметизаторов. Для специалистов есть более подробная литература.

На сайте «Нанометр» можно найти интересные познавательные видеофильмы Т. Арёфьевой и И. Арёфьева.

1. «Свойства магнитной жидкости как "умного материала"». Ч. 1,2.
2. «Использование магнитной жидкости в качестве магнитной смазки». Ч. 1,2.
3. «Получение магнитной жидкости из порошка».
4. «Использование магнитной жидкости для сбора нефтепродуктов».
5. «Демонстрация свойств магнитной жидкости: несмачиваемость водой, управляемость магнитным полем».

Глава I. Что такое ферромагнитная жидкость

Ферромагнитная жидкость (ФМЖ, магнитная жидкость, феррофлюид) (от латинского *ferrum* — железо) — жидкость, сильно поляризующаяся в присутствии магнитного поля.

Ферромагнитные жидкости представляют собой коллоидные растворы, состоящие из ферромагнитных или ферримагнитных частиц нанометровых размеров, находящихся во взвешенном состоянии в несущей жидкости, в качестве которой обычно выступает органический растворитель или вода. Для обеспечения устойчивости такой жидкости ферромагнитные частицы связываются поверхностно-активным веществом (ПАВ), образующим защитную оболочку вокруг частиц и препятствующем их слипанию. Несмотря на название, ферромагнитные жидкости не проявляют ферромагнитных свойств, поскольку не сохраняют остаточной намагниченности после исчезновения внешнего магнитного поля. ферромагнитные жидкости являются парамагнетиками и их часто называют «суперпарамагнетиками» из-за высокой магнитной восприимчивости.

1.1. Два типа ферромагнитной жидкости

Термин «магнитореологическая жидкость» относится к жидкостям, которые подобно ферромагнитным жидкостям затвердевают в присутствии магнитного поля. Разница между ферромагнитной жидкостью и магнитореологической жидкостью в размере частиц. Частицы в ферромагнитной жидкости это в основном частицы манометровых размеров, находящиеся во взвешенном состоянии из-за броуновского движения и не оседающие в нормальных условиях. Частицы в магнитореологической жидкости в основном микрометрового размера (на 1-3 порядка больше); они слишком тяжелы, чтобы броуновское движение поддерживало их во взвешенном состоянии, и поэтому со временем оседают из-за естественной разности в плотности частиц и несущей жидкости. Как следствие, у этих двух типов жидкостей разные области применения.

1.2. Свойства ферромагнитной жидкости

МЖ уникальны тем, что высокая текучесть сочетается в них с высокой намагниченностью – в десятки тысяч раз большей, чем у обычных жидкостей. Секрет такой высокой намагниченности заключается в том, что в обычную жидкость, например в жидкий углеводород, внедряется огромное количество мелких сферических частиц, которые представляют собой миниатюрные постоянные магниты. Каждый микроскопический постоянный магнетик хаотически вращается и перемещается в жидкой среде под действием теплового движения. Внешнее магнитное поле ориентирует магнитные моменты частиц, что приводит к изменению магнитных, оптических и реологических свойств раствора. Высокая чувствительность свойств раствора к внешнему полю позволяет управлять поведением магнитных жидкостей и использовать их в прикладных задачах. Каждая магнитная частица в магнитной жидкости покрыта тонким слоем защитной оболочки, что предотвращает слипание частиц, а тепловое движение разбрасывает их по всему объему жидкости. Поэтому, в отличие от обычных суспензий, частицы в магнитных жидкостях не оседают на дно и могут сохранять свои рабочие характеристики в течение многих лет.

Свойства МЖ определяются совокупностью характеристик входящих в нее компонентов (твердой фазы, жидкости-носителя и стабилизатора), варьируя которыми можно в довольно широких пределах изменять физико-химические параметры МЖ в зависимости от конкретных условий их применения. Это позволяет отнести магнитные жидкости к так называемым «умным» материалам.

На основании простых опытов можно выявить следующие свойства ФМЖ:

1. **Это - жидкость**, так как обладает такими свойствами жидкостей, как сохранение объёма, несохранение формы, текучесть.
2. **Это - жидкость**, обладающая магнитными свойствами, такими же, как тела из железа, кобальта, никеля, но сама она не является магнитом. Два магнита взаимодействуют друг с другом, притягиваются либо отталкиваются, две железки не взаимодействуют друг с другом, но притягиваются к магниту.
3. **Магнитная жидкость** обладает еще одним удивительным свойством. В ней, как и в любой жидкости, плавают тела менее плотные и тонут тела более плотные, чем она сама. Но если приложить к ней магнитное поле, то утонувшие тела начинают всплывать. Причем сильнее поле, тем более тяжелые тела поднимаются на поверхность.
4. **Магнит** притягивает магнитную жидкость, удерживает её в определённом месте, действует на неё сквозь стекло, дерево, картон и другие предметы,

Это свойство позволяет использовать ФМЖ как вещество, удерживаемое в нужном месте под действием магнитного поля. Магнетит, используемый для создания МЖ, безвреден для человеческого организма, что в перспективе позволит использовать МЖ в медицине для адресной доставки лекарств.

5. **Это - не обычная жидкость**. При приложении к магнитной жидкости магнитного поля у неё изменяются некоторые характеристики, например, вязкость.

Наука о текучести и вязкости тел называется реологией. Вязкое течение проявляется во многих процессах. Им обладают нефть, масляные краски, горные породы, тесто. Вязкость - это внутреннее трение в жидкости, препятствующее соседним слоям двигаться с различной скоростью.

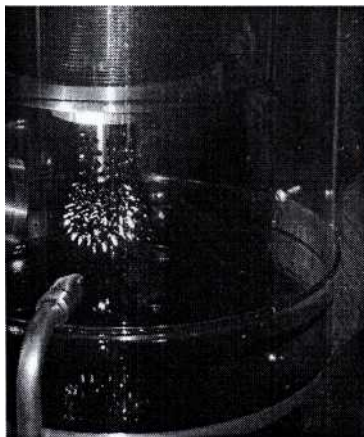


Фото 1. Магнитная жидкость притягивается к магниту.

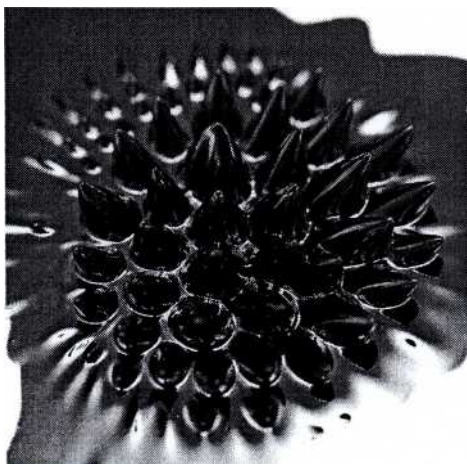


Фото 2.

6. В обычном состоянии МЖ растекается по поверхности, (её вязкость в 10 раз больше, чем у молока, и в 10 раз меньше, чем у масла), а при приложении магнитного поля вязкость МЖ резко возрастает. Наглядно это демонстрируется тем, что жидкость не растекается вдоль магнита, а образует «ёжики» вдоль линий магнитного поля.
7. **Ферромагнитные жидкости устойчивы:** их твердые частицы не слипаются и не выделяются в отдельную фазу даже в очень сильном магнитном поле. Тем не менее, ПАВ в составе жидкости имеют свойство распадаться со временем (примерно несколько лет), и в конце концов частицы слипнутся, выделятся из жидкости и перестанут влиять на реакцию жидкости на магнитное поле. Также ферромагнитные жидкости теряют свои магнитные свойства при своей температуре Кюри, которая для них зависит от конкретного материала ферромагнитных частиц, ПАВ и несущей жидкости.

Это - искусственное образование, так как сочетание текучести и магнитных свойств не встречается в природе.

1.3. Что представляет собой магнитная жидкость

Магнитная жидкость состоит из трёх составляющих.

Первое, это частички магнетита (магнитной руды), измельчённые до 8-15 нм. Если взять более крупные частички магнетита и размешать в водной основе, то они упадут на дно под действием силы тяжести, и к магниту будут притягиваться по отдельности. Если взять более мелкие частички, то не будет достаточных магнитных свойств. Наночастица магнетита 10 нм - это размеры 100 молекул воды.

Второе, это жидкость - основа, в которой частички магнетита будут взвешены. Для медицинских целей выбирают воду. Также в качестве основы берут керосин, полиэфир, вазелиновое масло.

Третье, нужна защитная оболочка. Если просто взвесить магнетит в жидкости, то мелкие частицы слипнутся, т.к. им так энергетически выгодно. Поэтому частицы магнетита нужно поместить в защитную оболочку, для этого берут олеиновую кислоту. Это длинная молекула, которая одной стороной прикрепляется к частицам магнетита, а другой - взаимодействует с молекулами жидкостной основы.

Все составляющие тщательно перемешиваются, так что получается однородная масса, коллоидный раствор. В коллоидном растворе тепловое движение частичек удерживает их во взвешенном состоянии, и они не падают вниз под действием силы притяжения.

1.4. Использование ПАВ-ов для создания ферромагнитной жидкости

Чтобы обволакивать частицы в ферромагнитной жидкости используются, в частности, следующие ПАВ-ы:

- олеиновая кислота;
- тетраметиловый гидроксид аммония;
- полиакриловая кислота;
- полиарилат натрия;
- лимонная кислота;
- соевый лецитин.

Поверхностно-активные вещества (ПАВ) препятствуют слипанию частиц, мешая им образовать слишком тяжелые кластеры, которые не смогут удерживаться во взвешенном состоянии за счет броуновского движения. В идеальной ферромагнитной жидкости магнитные частицы не оседают даже в очень сильном магнитном или гравитационном поле. Молекулы ПАВ имеют полярную «головку» и неполярный «хвост» один из концов адсорбируется к частице, а другой прикрепляется к молекулам жидкости-носителя, образуя, обычную или обратную мицеллу вокруг частицы. В результате пространственные эффекты препятствуют слипанию частиц. Полиакриловая, лимонная кислоты и их соли формируют на поверхности частиц двойной электрический слой в результате адсорбции полианионов, что приводит к возникновению кулоновских сил отталкивания между частицами, повышающей стабильность жидкости на водной основе.

Смесь	Среднее время истечения	Кинематическая вязкость ν (м ² /с)	Плотность ρ (кг/м ³)	Динамическая вязкость μ (м*сек/м ²)
с добавлением хозяйственного мыла	4,55	1,48*10 ⁻⁶	1100	1628*10 ⁻⁶
с добавлением Fairy	6,89	2,2*10 ⁻⁶	1085	2387*10 ⁻⁶
с добавлением Sorti	7,32	2,4*10 ⁻⁶	1150	2760*10 ⁻⁶
с добавлением лимонной кислоты	6,17	2*10 ⁻⁶	1050	2100*10 ⁻⁶

Хотя ПАВ полезны для того, чтобы продлить время осаждения частиц в ферромагнитной жидкости, они оказываются вредны для ее магнитных свойств. Добавление ПАВ (или других посторонних веществ) уменьшает плотность упаковки ферромагнитных частиц в активированном состоянии жидкости, тем самым уменьшая ее вязкость в этом состоянии, давая более «мягкую» активированную жидкость. Исключение составляют ПАВ на основе полиэлектролитов, позволяющие получить высококонцентрированные жидкости с малой вязкостью, в активном состоянии и скоростью осаждения частиц

1.5. Модель поведения магнитной жидкости в магнитном поле

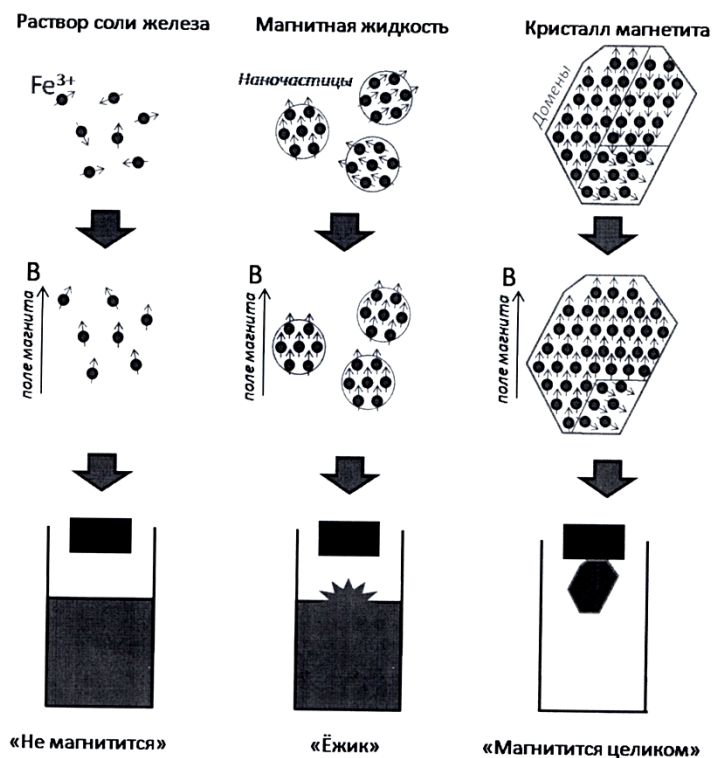


Рисунок 1. Модель поведения веществ в магнитном поле

В обычном состоянии частицы, из которых состоят вещества, находятся в тепловом движении. Для наночастиц магнетита энергия магнитного взаимодействия в поле магнита становится больше, чем энергия теплового движения, и частички, как маленькие магнитные стрелки, выстраиваются вдоль линий магнитного поля.

Глава II. Структурная организация магнитных жидкостей

Термодинамическая модель магнитной жидкости, показывающая, что при определенных значениях концентрации, температуры и напряженности магнитного поля появляется возможность расслоения ферромагнитных жидкостей на высококонцентрированные и слабо концентрированные фазы.

При этом, агрегаты могут быть разделены на два типа микрокапельные, имеющие упругую оболочку, и квазитвердые, иногда хлопьевидные, реже - напоминающие кристаллические образования.

2.1. Магнитная жидкость с микрокапельной структурой

Наиболее распространенными в жидкостях на основе керосина являются микро

капельные агрегаты. Образование микро капельной структуры является уникальным процессом, характерным только для дисперсных систем с магнитодипольными частицами. Попытка теоретического обоснования физического механизма этого процесса неоднократно предпринималась в ряде работ, среди которых следует отметить работу А.О. Цеберса, где в основу положено явление вытеснительной флокуляции. Причиной этого являются процессы мицеллообразования ПАВ-а в результате добавления керосина в магнитную жидкость. Концентрация частиц в микрокаплях может быть значительно выше, чем в омывающей их среде, а магнитная проницаемость микрокапель достигает нескольких десятков единиц.

Для исследования особенностей физических свойств магнитных жидкостей, обусловленных наличием микро капельных агрегатов, была разработана методика получения в МЖ на основе керосина хорошо развитой микрокапельной структуры. Это достигалось путем смешивания МЖ с минеральным маслом при различном соотношении их объемов. Смесь подогревалась до температуры 315 - 320 К и перемешивалась в течении 15-20 минут с помощью электромеханической мешалки. В результате этого была получена жидкость, содержащая множество мелких (2-7 мкм) капельных агрегатов, имеющих более высокое содержание магнетита, чем омывающая их среда. Такая магнитная жидкость может быть идентифицирована как магнитная эмульсия, уникальность которой состоит в том, что и эмульсированные капли и омывающая их среда одинаковы по природе и отличаются лишь плотностью. С другой стороны, достаточно высокое объемное содержание микрокапельных агрегатов в полученной таким способом среде приводит к особенностям оптических и магнитных свойств, обусловленных поведением микрокапель в магнитных и электрических полях. Подобные эффекты в той или иной мере могут наблюдаться и в магнитных жидкостях, в которых возможно самопроизвольное возникновение микрокапель под воздействием различных факторов.

2.2. Квазитвердые структурные образования в магнитных жидкостях

Большинство опубликованных работ в области магнитных жидкостей посвящены исследованию физических свойств "классических" магнитных жидкостей с магнетитовыми частицами на основе керосина, в которых при определенных условиях могут образовываться микрокапельные агрегаты. Однако, на практике, применяются в основном МЖ на вязких основах - кремнийорганических и минеральных маслах,

триэтаноламине и т.п., дисперсной средой в которых является магнетит, железо и их композиции. Такие магнитные жидкости по своей структуре и более высокой вязкости существенно отличаются от жидкостей на основе керосина. Выбор дисперсионной среды обусловлен малой степенью ее испаряемости, а также стремлением предотвратить вытекание МЖ из рабочих зазоров установок и устройств. Однако, такие несущие среды уменьшают возможность хорошей стабилизации МЖ. В связи с этим, такие магнитные жидкости получают структурированными уже в процессе технологического приготовления, структурные образования в них бесформенны, часто по внешнему виду напоминают хлопья или квазитвердые слоистые образования. На рис. 1 приведена фотография типичной структуры такой МЖ (композиция железа и магнетита в кремнийорганике при $T = 293\text{ K}$, увеличение 700).

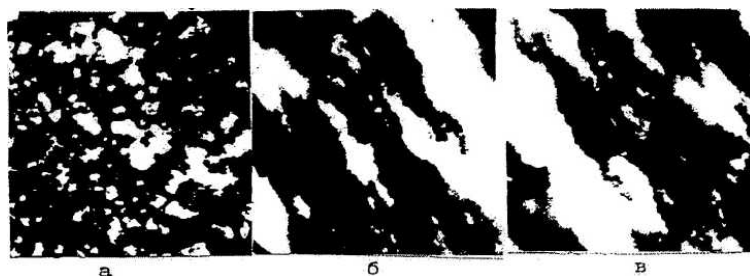


Рисунок 2. Структурные образования в МЖ повышенной вязкости.

а) до включения поля, б) при $H = 40\text{ кА/м}$, в) через 20 минут после выключения поля.

Изменение температуры приводит к изменению формы и конфигурации отдельных агрегатов и структуры в целом. Реакция на внешнее магнитное поле проявляется в виде преимущественной ориентации структурных образований по направлению поля. При этом, изменение направления поля на обратное не приводит к переориентации агрегатов, что указывает на отсутствие у агрегатов собственного магнитного момента, обусловленного упорядочением магнитных моментов дисперсных частиц. Квазитвердые структурные образования иногда могут реализовываться также и в относительно стабильных жидкостях на основе керосина, однако в этом случае, они могут иметь принципиально иной характер, чем образования в МЖ повышенной вязкости.

2.3. Структурная самоорганизация магнитных жидкостей в электрическом поле

В магнитной жидкости с микрокапельной структурой в электрическом поле помимо сил поляризационного происхождения существенную роль играют кулоновские силы, обусловленные накоплением заряда на межфазных границах. Электродинамические процессы приводят к изменению структуры магнитной жидкости, что в свою очередь оказывает влияние на магнитные и оптические свойства такой магнитной жидкости. Так, например, благодаря этим процессам в магнитной жидкости наблюдается дифракционное рассеяние света, имеющее ряд особенностей.

Исследование характера электродинамических неустойчивостей и рассеяния света проводилось в тонких слоях (20 - 40 мкм) магнитных жидкостей, заключенных между прозрачными стеклами с токопроводящим покрытием. Наблюдение микроструктуры осуществлялось с помощью оптического микроскопа. При исследовании дифракционного светорассеяния применялся гелий-неоновый лазер, луч которого пропускали перпендикулярно плоскости ячейки. Характер рассеяния света наблюдали на экране, а относительную величину интенсивности рассеянного света регистрировали с помощью фотоэлемента и цифрового прибора. Кроме описанной, использовалась также измерительная ячейка, позволяющая создавать электрическое поле, перпендикулярное световому лучу, устройство которой аналогично измерительной ячейке (рис.2).

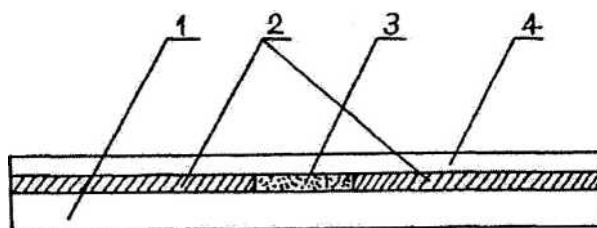
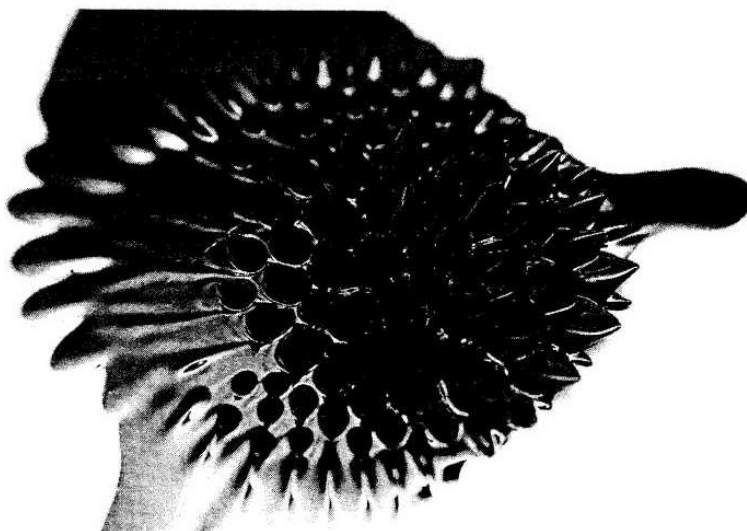


Рисунок 3. Схема ячейки для исследования деформации микрокапельных агрегатов в электрическом поле; 1 - предметное стекло, 2 - металлические пластины, 3 - магнитная жидкость с агрегатами возникновения анизотропии структуры, 4 - покровное стекло.

Результаты оптических наблюдений, показывают, что в полях достаточно низкой частоты, когда электропроводность капель ниже, чем окружающей их среды капли сплюсываются вдоль направления электрического поля. В результате возникновения анизотропии структуры в магнитной жидкости наблюдается анизотропное

светорассеяние. Наблюдающееся при отсутствии поля светлое пятно ("гало") трансформируется в широкую размытую полосу, направленную параллельно малым осям сплюснутых капель.



Глава III. Применение ферромагнитной жидкости (ФМЖ)

3.1. Сферы применения ферромагнитных жидкостей

Ферромагнитные жидкости известны уже достаточно давно, они применяются в различных устройствах и механизмах. Основной областью применения таких жидкостей является их использование в качестве барьеров, предохраняющих узлы сложных и точных механизмов от проникновения пыли и других загрязняющих веществ. Также ферромагнитные жидкости в свое время использовались в мощных высококачественных акустических системах, где с их помощью удавалось получить более высокую выходную мощность, избегая перегрева головок динамиков.

В настоящее время ряд ученых и исследовательских групп снова обратили свое внимание на ферромагнитные жидкости, но уже на другом, микро- и наноуровне. Ведутся исследования ферромагнитных жидкостей с целью применения их для создания управляемых микроэлектромеханических и наноэлектромеханических систем.

Ферромагнитные жидкости используются для создания жидких уплотнительных устройств вокруг вращающихся осей в жёстких дисках. Вращающаяся ось окружена магнитом, в зазор между магнитом и осью помещено небольшое количество ферромагнитной жидкости, которая удерживается притяжением магнита. Жидкость образует барьер, препятствующий попаданию

частиц извне внутрь жёсткого диска Жидкие уплотнители на вращающихся осях в норме выдерживают давление в от 3 до 4 фунтов на квадратный дюйм (примерно от 20680 до 27580 Па), но такие уплотнители не очень годятся для узлов с поступательным движением (например, поршней), так как жидкость механически вытягивается из зазора.

Ферромагнитная жидкость также используются во многих динамиках для высоких частот, для отвода тепла от звуковой катушки. Одновременно она работает механическим демпфером, подавляя нежелательный резонанс. Ферромагнитная жидкость удерживается в зазоре вокруг голосовой катушки сильным магнитным полем, находясь одновременно в контакте с обеими магнитными поверхностями и с катушкой

Ферромагнитная жидкость способна снижать трение. Нанесенная на поверхность достаточно сильного магнита, она позволяет магниту скользить по гладкой поверхности с минимальным сопротивлением.

Ferrari использует магнитореологические жидкости в некоторых моделях машин для улучшения возможностей подвески. Под воздействием электромагнита, контролируемого компьютером, подвеска может мгновенно стать более жесткой или более мягкой.

Ферромагнитные жидкости имеют множество применений в оптике благодаря их преломляющим свойствам. Среди этих применений измерение удельной вязкости жидкости, помещенной между поляризатором и анализатором, освещаемой гелий-неоновым лазером.

В медицине биологически совместимые ферромагнитные жидкости могут быть использованы для диагностики рака. Также ведется много экспериментов по использованию ферромагнитных жидкостей для удаления опухолей. Предполагается, что ферромагнитная жидкость вводится в опухоль и подвергается воздействию быстро меняющегося магнитного поля, и выделяющееся от трения тепло может разрушить опухоль.

Если воздействовать магнитным полем на ферромагнитную жидкость с разной восприимчивостью (например, из-за температурного градиента) возникает неоднородная магнитная объемная сила, что приводит к форме теплопередачи называемой термомагнитная конвекция. Такая форма теплопередачи может использоваться там, где не годится обычная конвекция, например, в микроустройствах или в условиях пониженной гравитации.

Замороженная или полимеризованная ферромагнитная жидкость,

находящаяся в совокупности постоянного (подмагничивающего) и переменного магнитных полей, может служить источником упругих колебаний с частотой переменного поля, что может быть использовано для генерации ультразвука

Практическая часть

Оборудование: железный порошок, полосовой магнит, лазерная указка, стеклянный сосуд, пластмассовая ёмкость, подковообразный магнит, машинное масло, деревянный брусок, карандаш.

Опыт 1.

Таблица 1. Коэффициенты трения скольжения дерева по разным поверхностям.

Поверхность	Дерево сухое	дерево, смазанное маслом	дерево, смазанное магнитной жидкостью
Коэффициент трения	0,21	0,15	0,075



Вывод: коэффициент трения по дереву, смазанному магнитной жидкостью наименьший

Опыт 2.

1. Я взял стеклянную баночку из-под лекарства, тщательно промыл её (мне нужно было найти цилиндрический, прозрачный сосуд из любого немагнитного материала с немагнитной крышкой, который должен был иметь столь малый объем, чтобы железная руда заполнила его примерно на одну треть). Затем я начал постепенно добавлять в руду обычное машинное масло, одновременно перемешивая смесь карандашом. Когда магнитная жидкость имела консистенцию сметаны, я перестал добавлять масло.



2. Далее я поднес к сосуду магнит и стал наблюдать за происходящим. В обычном состоянии частицы, из которых состоят вещества, находятся в тепловом движении. Для наночастиц магнетита энергия магнитного взаимодействия в поле магнита становится больше, чем энергия теплового движения, и частички, как маленькие магнитные стрелки, выстраиваются вдоль линий магнитного поля.
3. Свои наблюдения я фиксировал на камеру телефона.



Опыт 3.

1. В этом опыте я взял магнитную жидкость и стал просвечивать её лазером. Луч лазера в жидкости стал отражаться от частиц, образуя линию вдоль сосуда. В итоге, отраженный свет формирует видимую линию вдоль пути лазерного луча.
2. Свои наблюдения я также фиксировал на камеру телефона.



Опыт 4.

1. В воду налил немного машинного масла, затем добавили небольшое количество магнитной жидкости. После тщательного перемешивания дал смеси отстояться.
2. Магнитная жидкость растворилась в машинном масле. Под действием магнитного поля плёнка из машинного масла с растворённой в нём магнитной жидкости начинает стягиваться к магниту. Поверхность воды постепенно очищается.
3. Наблюдения я фиксировал на камеру телефона.



Опыт 5.

1. Я взял ёмкость побольше и поместил подковообразный магнит в магнитную жидкость. Магнит не утонул, покрылся на половину смесью. Магнитное поле, создаваемое магнитом, взаимодействует с частицами ферромагнетика в жидкости. Это взаимодействие может создавать подъемную силу, противодействующую силе тяжести.
2. Небольшой магнит с достаточно сильным магнитным полем, помещенный в ФМЖ с достаточной концентрацией ферромагнитных частиц, не утонет, а будет удерживаться на поверхности или взвешен в толще жидкости. Это происходит

благодаря взаимодействию магнитного поля магнита с магнитными частицами в жидкости, что создает подъемную силу, компенсирующую силу тяжести.

3. Наблюдения фиксировал на камеру телефона.



Заключение

Проблемы получения магнитных жидкостей и применения их в различных областях современной науки и техники, биологии и медицины являются актуальными. Проблемы получения и испытания этих систем на предмет агрегативной устойчивости в различных условиях с заданными техническими параметрами, являются очень насущными. Применение магнитных жидкостей целевого назначения в промышленности и медико биологических исследованиях предусматривает изучение особенностей их взаимодействия как с поверхностью исполнительных механизмов технических устройств, так и с поверхностью клеток и тканей живых организмов. Исследование процессов коагуляции частиц ферромагнитных жидкостей в различных условиях могло бы помочь при создании устойчивых магнитных коллоидов целевого назначения. Они бы представили большой интерес для специалистов в физике, химии, технике, биологии и медицине.

Работая над темой «Магнитные жидкости», я провёл ряд экспериментов с магнитной жидкостью, сделал ряд фотографий необычных свойств магнитной жидкости. Цель работы достигнута.

Библиографический список

1. Такетоми С , Тикадзumi С. Магнитные жидкости / пер. с яп.). М.: Мир, 1993.
2. Магнитные жидкости в машиностроении. / Под ред. проф.Д.В. Орлова, проф. В.В. Под- горкова. М.: Машиностроение, 1993.
3. Материалы Арефьевой Т.А. и Арефьева И.М., сотрудников проблемной научно- исследовательской лаборатории прикладной феррогидродинамики ИГЭУ.
4. Брук Э.Т., Фертман В.Е. «Ёж» в стакане. Магнитные материалы: от твёрдого тела к жидкости. Минск, Высшая школа, 1983.
5. Богатство наномира. Под ред Ю.Д. Третьякова. М.: Бином. Лаборатория знаний, 2010,
6. Богданов К.Ю. Не только о физике яйца. М.: Просвещение, 2009.
7. Зарипов А.К. Структурная релаксация и вязкоупругие свойства магнитных жидкостей – диссертация.