

СВОЙСТВА МАГНИТНОЙ ЖИДКОСТИ

Мартиров И.В.

г. Красноярск, МБОУ «средней школы» № 42, 10 класс

Научный руководитель: Курденко Е.В., учитель физики, г. Красноярск, МБОУ «средней школы» № 42

Цель работы: выявить различия в свойствах магнитной жидкости (МЖ) с использованием разных поверхностно-активных веществ.

Гипотеза: если использовать разные виды поверхностно-активных веществ (ПАВ), то свойства магнитной жидкости будут различны.

Проблема: как получить раствор мельчайших частиц магнитного материала, то есть устойчивую и неосаждающуюся с течением времени взвесь твёрдых частиц в жидкости.

Объект исследования: магнитная жидкость.

Предмет исследования: свойства магнитной жидкости.

Задачи:

- изучение теории по данной теме;
- получение магнитной жидкости химическим способом с использованием разных поверхностно-активных веществ: хозяйственного мыла, Fairy, Sorti, растительного масла в качестве ПАВ, лимонной кислоты;
- изучение и сравнение физических свойств полученных магнитных жидкостей с образцом готовой магнитной жидкости (взятой из лаборатории);
- изучение магнитных свойств полученных магнитных жидкостей;
- изучение устойчивости магнитной жидкости с разными ПАВ;

Новизна работы.

В данной работе не только рассмотрено понятие магнитной жидкости и способ получения, но и проведены исследования ее свойств, выявлены различия в свойствах магнитной жидкости с использованием разных поверхностно-активных веществ. В результате проведенных исследований получена магнитная жидкость с оптимальными магнитными свойствами.

Практическая значимость.

Результаты исследований могут использоваться на уроках физики и химии, факультативных занятиях, для самообразования учащихся.

Магнитная жидкость

Состав магнитной жидкости

Магнитная жидкость – жидкость, притягиваемая магнитом, то есть реагирующая на магнитное поле.

Магнитная жидкость представляет собой коллоидный раствор мельчайших частиц магнитного материала (обычно магнетита Fe_3O_4 или феррита), то есть устойчивую и неосаждающуюся с течением времени взвесь твёрдых частиц в жидкости. Размеры частиц варьируются в пределах от 5 нм до 10 мкм [8]. Для предотвращения слипания частиц используют поверхностно-активные вещества (ПАВ). Молекулы ПАВ «изолируют» частички магнетита друг от друга, не давая им соединиться в крупные элементы, более подверженные оседанию на дно сосуда [13]. В роли базовой жидкости могут использоваться вода, керосин, технические масла и различные типы органических жидкостей, ее выбор обусловлен желаемым набором физических свойств конечного продукта, таких как: вязкость, плотность, теплопроводность, термостойкость и др.

Находясь в магнитном поле, магнитная жидкость приобретает магнитный момент, сравнимый с моментом твердых ферромагнетиков [1].

Свойства магнитной жидкости

Свойства магнитной жидкости определяются совокупностью характеристик, входящих в нее компонентов (твердой фазы, жидкости-носителя и стабилизатора).

Магнитные жидкости уникальны тем, что высокая текучесть сочетается в них с высокой намагниченностью. Каждый микроскопический постоянный магнетик хаотически вращается и перемещается в жидкой среде под действием теплового движения. 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 [4]. У магнитных жидкостей очень высокая магнитная восприимчивость – достаточно маленького стержневого магнита, чтобы на поверхности жидкости с парамагнитными свойствами возникла регулярная структура из складок [12]. Если приложить к магнитной жидкости магнитное поле, то утонув-

шие тела начинают всплывать. Чем, сильнее поле, тем более тяжелые тела поднимаются на поверхность. Любопытно также, что магниты в магнитной жидкости не тонут [3].

При приложении к магнитной жидкости магнитного поля у неё изменяется вязкость. Вязкость – это внутреннее трение жидкости, препятствующее соседним слоям двигаться с различной скоростью. 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 образуются «шипы» вдоль линий магнитного поля [13].

Из механики известно, что равновесным состоянием системы соответствует минимальное значение ее потенциальной энергии. Отсюда следует, что свободная поверхность жидкости стремится сократить свою площадь. По этой причине свободная капля жидкости принимает шарообразную форму. Жидкость ведет себя так, как будто по касательной к ее поверхности действуют силы, сокращающие (стягивающие) эту

поверхность. Эти силы называются силами поверхностного натяжения. Наличие сил поверхностного натяжения делает поверхность жидкости похожей на упругую растянутую пленку, с той только разницей, что упругие силы в пленке зависят от площади ее поверхности, а силы поверхностного натяжения не зависят от площади поверхности жидкости [14].

Экспериментальная часть

Получение магнитной жидкости

Цель: получить магнитную жидкость

Наиболее простой химический метод приготовления магнитной жидкости нами был найден в журнале «Наука и жизнь», по которому и была изготовлена магнитная жидкость [5].

Изготовление магнитной жидкости химическим методом:

1. Растворялось в 500 мл дистиллированной воды 24 грамма $FeCl_3$ и 12 граммов $FeSO_4$ (рис. 1–2).

Полученный раствор отфильтровывался на воронке в другую колбу для отделения механических примесей (рис. 3).



Рис. 1. Взвешивание $FeCl_3$ и $FeSO_4$



Рис. 2. Растворение $FeCl_3$ и $FeSO_4$



Рис. 3. Фильтрация полученного раствора



Рис. 4. Добавление 100 мл аммиачной воды



Рис. 5. Разные виды поверхностно-активных веществ



Рис. 6. Прогревание магнитной жидкости

В полученный раствор вливалась аммиачная вода (100 мл), взбалтывалась. Затем доливалась дистиллированная вода, и колба ставилась с образовавшейся смесью на постоянный магнит на полчаса (рис. 4).

После того, как образовавшиеся частицы магнетита выпадали на дно колбы, осторожно сливалась около двух третей раствора, и снова заливалась в колбу дистиллированная вода, взбалтывалась, и опять ставилась на магнит. Операция повторялась до тех пор, пока pH раствора не достигал 7.5–8.5.

После того, как последний промывной раствор на две трети был слит, загущённая суспензия была отфильтрована через бумажный фильтр на воронке и полученная суспензия разделялась на 2 равные части.

Далее, согласно рецепту, необходимо было смешать полученный осадок чёрного цвета с 7.5 грамма натриевой соли олеиновой кислоты, которая играет роль ПАВ. После консультации с учителем химии выяснилось, что такие вещества как мыло, моющее средства, масло, лимонная кислота могут быть использованы в качестве ПАВ. Было принято решение, изготовить 4 вида магнитной жидкости: с добавлением хозяйственного мыла, моющего средства FAIRY (15-25%), моющего средства SORTI (5-15%), растительного масла, лимонной кислоты, поэтому пришлось повторять п. 1-5, для получения еще 2-х порций суспензии (рис. 5).

Полученные смеси поочередно помещались в фарфоровый стаканчик и хорошо перемешиваясь, прогревалась на спиртовые горелки в течение 45 мин (рис. 6).

Полученная «патока» чёрного цвета охлаждалась до комнатной температуры. Затем доливалась дистиллированная вода (30 мл) в смеси и размешивалась. Разведённую водой «патоку» поставили еще раз на магнит в прохладное место, на сутки.

Вывод: было изготовлено 4 вида магнитной жидкости: с добавлением хозяйственного мыла, моющего средства FAIRY, моющего средства SORTI, растительного масла, лимонной кислоты.

Изучение физических свойств

Цель: изучить и сравнить физические свойства полученных магнитных жидкостей с образцом готовой магнитной жидкости (взятой из лаборатории)

Опыт № 1 «Определение плотности магнитной жидкости»

Приборы и материалы: весы с разновесами, шприц, пробирки с МЖ.

Для определения плотности полученных магнитных жидкостей мы измерили массу 1 мл магнитной жидкости на весах и рассчитали плотность по формуле $\rho = \frac{m}{V}$.

Измерение повторили для 4 видов МЖ. Результаты представлены в табл. 1.

Вывод: из всех изготовленных смесей, по своим физическим свойствам наиболее схожи с готовой МЖ смесь, содержащая хозяйственное мыло и смесь, содержащая лимонную кислоту в качестве ПАВ. Смесь с добавлением растительного масла из-за своей неоднородности была снята с дальнейшего изучения.

Опыт № 2 «Определение коэффициента поверхностного натяжения»

Цель: измерить коэффициент поверхностного натяжения различных видов МЖ.

Приборы и материалы: весы с разновесом, трубка резервуар, кран воздушный, стакан, пробирки с МЖ

Порядок выполнения работы:

1. С помощью штангенциркуля определяем диаметр наконечника пипетки $D = 2 \text{ мм} = 0,002 \text{ м}$

Таблица 1

Физические свойства

Смесь	Внешний вид (цвет, запах, консистенция)	Плотность, г/см ³
Образец готовой МЖ, взятый из лаборатории	Жидкая, однородная, темно-коричневая жидкость.	от 0,95 до 1,8
Смесь с добавлением хозяйственного мыла	Жидкая, однородная, темно-коричневая жидкость с запахом мыла	1,1
Смесь с добавлением Fairy	Жидкая, неоднородная (с отдельными частицами), черная жидкость с приятным ароматическим запахом	1,085
Смесь с добавлением Sorti	Жидкая, неоднородная (с отдельными частицами) черная жидкость с приятным ароматическим запахом	1,15
Смесь с добавлением растительного масла	Неоднородная (комочками) черная жидкость, без запаха	–
Смесь с добавлением лимонной кислоты	Жидкая, однородная, оранжево-коричневая жидкость, с запахом лимонной кислоты	1,05

Таблица 2

МЖ	Смесь с добавлением хозяйственного мыла	Смесь с добавлением Fairy	Смесь с добавлением Sorti	Смесь с добавлением лимонной кислоты
$\sigma_{\text{изм}}$, мН/м	73	32	78	68

2. Взвешиваем стакан $m_{\text{см}} = 2,2 \text{ г} = 0,0022 \text{ кг}$.
3. С помощью пипетки отсчитываем 51-55 капель (n) в стакан (рис. 7).



Рис. 7. Определение коэффициента поверхностного натяжения

4. Взвешиваем стакан с МЖ. Находим массу МЖ: $m_{\text{мж}} = m - m_{\text{см}}$
5. Определяем массу одной капли:

$$m_{\text{кап}} = \frac{m_{\text{мж}}}{n}$$

6. Вычислите поверхностное натяжение:

$$\sigma_{\text{изм}} = \frac{mg}{\pi D}$$

7. Измерения повторили для 4 видов МЖ. Результаты представлены в табл. 2.

Выводы: полученные экспериментальные данные показали, что коэффициент поверхностного натяжения для МЖ с добавлением хозяйственного мыла, FAIRY, SORTI, лимонной кислоты, различный. Известно, что снижение поверхностного натяжения достигается введением в жидкость поверхностно-активных веществ, уменьшающих ее свободную поверхностную энергию (мыло, жирные кислоты). Следовательно, тип и концентрация ПАВ влияют на поверхностное натяжение МЖ.

Опыт № 3 «Определение кинематической и динамической вязкости МЖ»

Цель: измерить коэффициент вязкости различных видов МЖ.

Приборы и материалы: капиллярный вискозиметр Освальда, шприц, воронка секундомер.

Порядок выполнения работы:

Наливаем в вискозиметр определенный объем МЖ, 3 раза измеряем время протекания через капилляр вискозиметра (рис. 8). Находим среднее значение времени протекания.

По формуле $\nu = C \cdot t_{\text{ср}}$ определяем значение кинематической вязкости МЖ, где $C = 0,3246 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}^2$ – постоянная вискозиметра.



Рис. 8. Определение кинематической вязкости магнитной жидкости капиллярным методом

По формуле $\mu = \nu \cdot \rho$ определяем динамическую вязкость МЖ.

Опыт и расчеты повторяем для 4 видов МЖ, содержащих различные ПАВ.

Результаты представлены в табл. 3.

Выводы: полученные экспериментальные данные показали, что кинематическая и динамическая вязкость для МЖ с добавлением хозяйственного мыла, FAIRY, SORTI, лимонной кислоты, различная.

Изучение магнитных свойств

Цель: изучить магнитные свойства полученных магнитных жидкостей

Опыт № 1. След магнитной жидкости

Переливались полученные смеси в разные пробирки, и подносился магнит. При движении магнита, смеси поднимались вслед за магнитом, оставляя след на стенках пробирки.

Результаты: смеси с добавлением Fairy и Sorti оставляли черный неоднородный след (оставались частицы) на стекле, а смеси с добавлением мыла и лимонной кислоты однородный, оранжево-коричневый след (рис. 9).

Опыт № 2. Получение шипов на поверхности магнитной жидкости

Для получения известных «ежей» переливалась магнитная жидкость в чашку Петри, и подносился магнит.

Результаты: смеси заметно вспучивалась, но не покрывалась шипами (рис. 10). Знаменитые опыты «с ежом» удавалось воспроизвести только с готовой магнитной жидкостью.

Таблица 3

Смесь	Средне время истечения	Кинематическая вязкость ν (м ² /с)	Плотность ρ (кг/м ³)	Динамическая вязкость μ (н·сек/м ²)
с добавлением хозяйственного мыла	4,55	$1,48 \cdot 10^{-6}$	1100	$1628 \cdot 10^{-6}$
с добавлением Fairy	6,89	$2,2 \cdot 10^{-6}$	1085	$2387 \cdot 10^{-6}$
с добавлением Sorti	7,32	$2,4 \cdot 10^{-6}$	1150	$2760 \cdot 10^{-6}$
с добавлением лимонной кислоты	6,17	$2 \cdot 10^{-6}$	1050	$2100 \cdot 10^{-6}$



Рис. 9. След магнитной жидкости



Рис. 10. Получение шипов на поверхности магнитной жидкости



Рис. 11. Взвешенное состояние магнита в магнитной жидкости

Опыт № 3. Взвешенное состояние магнита в магнитной жидкости

Опускался магнит в полученные смеси.

Результаты: магнит не утонул, покрылся смесью, при наклоне чаши, двигался «внутри жидкости» (рис. 11). Однако было замечено, что в смесях содержащей Fairy и Sorti частицы стали отделяться от жидко-

сти, и стремительно двигались к магниту. Через некоторое время магнит был облеплен частицами, а вокруг него осталась практически прозрачная жидкость (рис. 12).

Опыт № 4. Намагничивание фильтрованной бумаги

Брались кусочки фильтрованной бумаги, пропитывались изготовленными смесями и высушивались.

Результаты: при поднесении магнита, бумага, пропитанная смесью с добавлением Sorti и Fairy «подпрыгивала» и «прилипла» к магниту. Бумага, пропитанная смесью с добавлением мыла и лимонной кислоты, только при непосредственном контакте притянулась к магниту. Следовательно, частицы магнитной фазы, заполнив поры бумаги, придали ей слабые магнитные свойства (рис. 13).

Опыт № 5. Скольжение магнита в магнитной жидкости

Повторялся опыт № 3, и обращалось внимание на скольжение магнита.

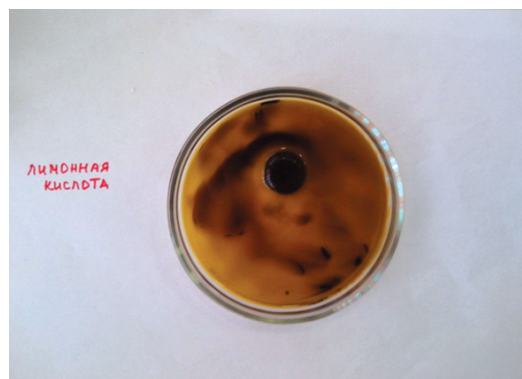
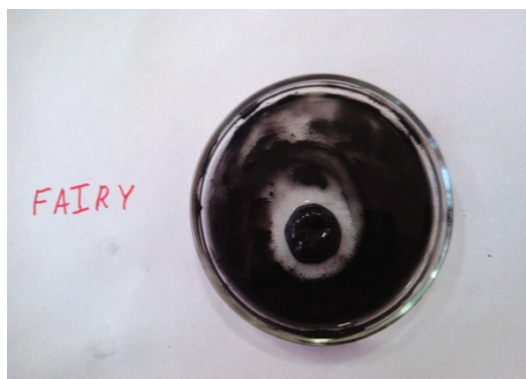
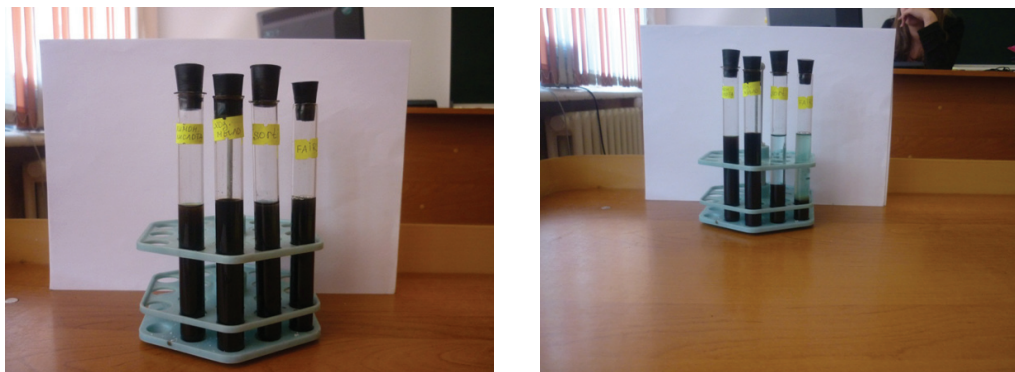


Рис. 12. Отделение частиц в смесях, содержащих Fairy и лимонную кислоту



Рис. 13. Намагничивание фильтрованной бумаги



До

После

Рис. 14. Устойчивость магнитной жидкости

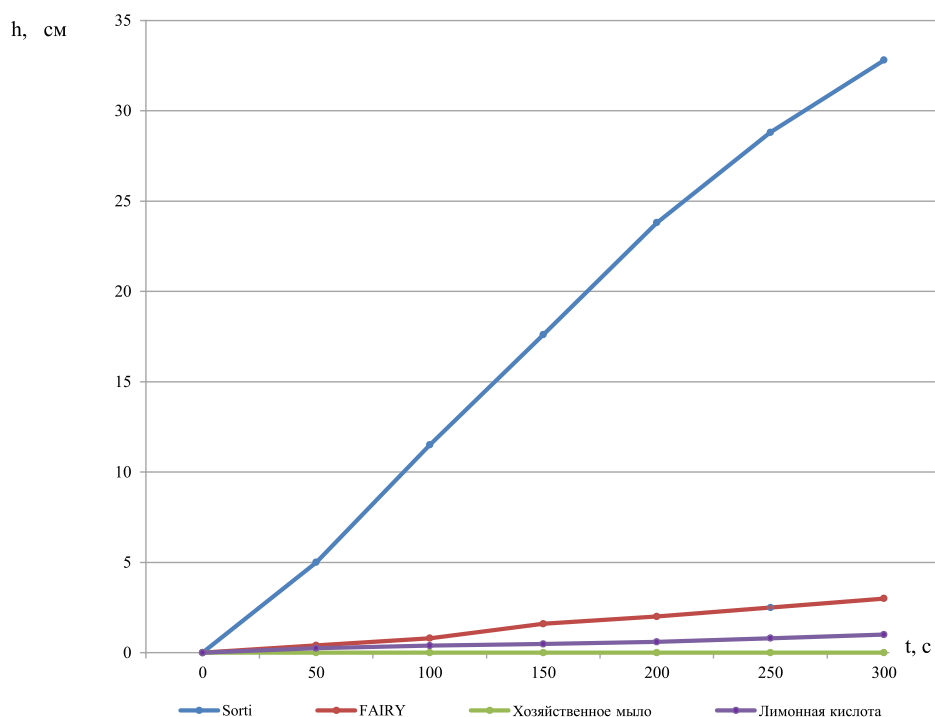


Рис. 15. График зависимости оседания частиц в магнитной жидкости

Результат: в начале опыта магнит во всех жидкостях легко скользил, но спустя некоторое время, магнит, опущенный в смеси, содержащие Fairy и Sorti, стал соприкасаться с дном чаши, и его движение стало затормаживаться.

Изучение устойчивости магнитной жидкости

Опыт № 1. Время оседания частиц

Переливались смеси в пробирки, и наблюдалось поведение частиц. Затем фиксировалось время и движение частиц.

Результаты: через некоторое время в смесях, содержащих Fairy и Sorti, частица оседала, образуя осадок, над которым находилась почти прозрачная жидкость. В смеси содержащей лимонную кислоту, оседание частиц происходило очень медленно. В смеси с содержанием мыла оседание не наблюдалось. Результаты представлены на графиках (рис. 14–15).

Заключение

Таким образом, выдвинутая гипотеза подтвердилась.

Выводы

1. Экспериментальным путем было получено 4 вида магнитной жидкости с разными поверхностно-активными веществами (ПАВ).

2. Выявлены изменения магнитных и физических свойств магнитной жидкости при изменении ПАВ входящих в ее состав.

3. Полученные экспериментальные данные доказали, что тип и концентрация ПАВ влияют на плотность, коэффициент поверхностного натяжения, вязкость и устойчивость МЖ.

4. Из всех изготовленных смесей, устойчивой и наиболее схожей по своим физическим свойствам с готовой МЖ оказалась смесь, содержащая хозяйственное мыло в качестве ПАВ.

5. Вид магнитной жидкости, с использованием растительного масла, получился неоднородным.

Список литературы

1. Розенцвейг Р. Феррогидродинамика / Розенцвейг Р. – М.: Мир, 1989. – 365 с.
2. Такетоми С., Магнитные жидкости / С. Такетоми, С. Тикадзуми. – М.: Мир, 1993. – 272 с.
3. Современное естествознание. Энциклопедия: В 10 т. Т. 5. – М.: Издательский Дом: МАГИСТР-ПРЕСС, 2000. – 210 с.: ил.
4. Еремин В.В., Дроздов А.А. Нанохимия и нанотехнологии. 10-11 классы. Профильное обучение / Еремин В.В., Дроздов А.А. – М.: Дрофа, 2009.
5. Журнал «Наука и жизнь» № 11. – 2002 – <http://www.nkj.ru/archive/articles/4971/>
6. Pespertuum. – Режим доступа: <http://khd2.narod.ru/index.htm>.
7. НАУКА – это ЖИЗНЬ! Сборник научно-познавательных статей, заметок и публикаций. – Режим доступа: <http://nauka.relis.ru/34/0211/34211036.htm>.
8. Словарь НАНО технологических и связанных с нанотехнологиями терминов. – Режим доступа: <http://thesaurus.rusnano.com/wiki/article13576>.
9. Нанометр. Нанотехнологическое сообщество. – Режим доступа: http://www.nanometer.ru/2013/01/10/magnitnie_zhidkosti_301807.html.
10. Фестиваль НАУКА 0+ Россия. Научно-познавательный портал. – Режим доступа: <http://www.festivalnauki.ru/statya/14668/magnitnye-zhidkosti>.
11. Википедия. Свободная энциклопедия. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Ферромагнитная_жидкость.
12. Википедия. Свободная энциклопедия. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Поверхностно-активные_вещества.
13. Интернет-издание, посвященное знаниям и разным взглядам на жизнь. – Режим доступа: <http://pandia.ru/text/78/520/89724.php>.
14. Познавательный портал о физике. – Режим доступа: <http://www.its-physics.org/svoystva-zhidkostey-poverhnostnoenatyazhenie>.