

9. Блум Э.Я., Михайлов Ю.А., Р.Я. Озолс. Тепло - и массообмен в магнитном поле, Рига : Зинатне, 1980. – 355 С.
10. Диканский Ю.И., Нечаева О.А., Закинян А.Р. Деформация микрокапель магниточувствительной эмульсии//Коллоидный журнал.-2006.-том 68, №2, С. 161-165.

МАГНИТООПТИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ В МАГНИТНОЙ ЭМУЛЬСИИ НА ВОДНОЙ ОСНОВЕ

Белых С.С., Ерин К.В.

Северо-Кавказский федеральный университет

Институт математики и естественных наук

355009, г. Ставрополь, ул. Пушкина 1; e-mail: sergeyb.stav@mail.ru

Магнитные эмульсии, содержащие микрокапли магнитной жидкости, взвешенные в немагнитной жидкой среде, являются одним из наиболее интересных представителей структурированных магнитных коллоидных систем. Под действием внешних электрического и магнитного поля в магнитных эмульсиях возникает ряд реологических, оптических и электрофизических эффектов, связанных как с деформацией микрокапель в поле, так и с образованием различных самоорганизованных структур [1-2]. В магнитных эмульсиях на основе диэлектрических жидкостей величина межфазного натяжения между каплями магнитной жидкости и окружающей средой невелика, что дает возможность каплям легко деформироваться в поле небольшой величины. Деформированные капли создают в дисперсной системе анизотропию, приводящую, в том числе и к оптическим эффектам [3]. В магнитных эмульсиях на водной основе межфазное натяжение гораздо выше, но при этом в системе могут образовываться структуры из микрокапель. В настоящей работе приведены результаты исследования магнитооптического эффекта в магнитных эмульсиях, в которых вода является дисперсионной средой.

Для исследований были приготовлены образцы магнитных эмульсий на водной основе, с каплями, представляющими собой керосиновую магнитную жидкость. Эмульсии были синтезированы ультразвуковым методом с добавлением ПАВ и последующим осаждением наиболее крупных капель в неоднородном магнитном поле с целью стабилизации полученных образцов.

Исследование динамического и статического рассеяния света в магнитных эмульсиях проводилось с помощью спектрометра динамического рассеяния света «Photocor Complex». Размер магнитных капель определялся методом динамического рассеяния света по данным измерения коэффициента поступательной броуновской диффузии. На рисунке 1 приведены индикатрисы рассеяния для эмульсий с различными концентрациями магнитной фазы. Индикатрисы демонстрируют преимущественное рассеяние света на малые углы, что свидетельствует о крупном размере рассеивающих центров по сравнению с длиной волны падающего света.

Распределения магнитных капель по размерам были построены по данным динамического рассеяния света [4]. При расчетах было принято во внимание, что применение метода динамического рассеяния света для сильно опалесцирующих систем ограничено только углами рассеяния больше 90 град., на которых вклад многократно рассеянного света минимален. Кроме того, классическое определение размера частицы из данных динамического рассеяния света предполагает, что частица твердая, и для нее справедливо уравнение Эйнштейна-Стокса:

$$D_t = \frac{kT}{6\pi r\eta} \quad (1)$$

В нашей системе капли эмульсии не являются твердыми и в этом случае коэффициент диффузии необходимо рассчитывать с учетом поправки в величине вязкости, согласно формуле Адамара-Рыбчинского [5]. В этом случае выражение для коэффициента поступательной диффузии будет иметь вид:

$$D_t = \frac{kT}{2\pi r\eta_{cp} \frac{2\eta_{cp} + 3\eta_{\phi}}{\eta_{cp} + \eta_{\phi}}} \quad (2)$$

где η_{cp} и η_{ϕ} – вязкости дисперсионной среды и дисперсной фазы соответственно. При $\eta_{\phi}/\eta_{cp} \gg 1$ уравнение переходит в классическое уравнение Эйнштейна-Стокса (1). С учетом значений вязкостей магнитной жидкости и водной основы был определен поправочный коэффициент, который позволил корректно оценивать размер капель по данным динамического рассеяния света.

Анализ гистограмм распределения по размерам (рис. 2) показывает наличие в образце двух фракций капель со средними радиусами 110 нм и 750 нм с разбросом размеров фракций 50-200 нм и 500 нм – 1 мкм.

Для изучения оптических эффектов в магнитных эмульсиях при воздействии импульсного магнитного поля прозрачная стеклянная ячейка с образцом помещалась в область однородного поля катушек Гельмгольца, через которые пропускался импульсный электрический ток при помощи электронного ключа. Сквозь ячейку с образцом эмульсии пропускался луч гелий-неонового лазера с длиной волны 633 нм, который затем регистрировался фотодетектором.

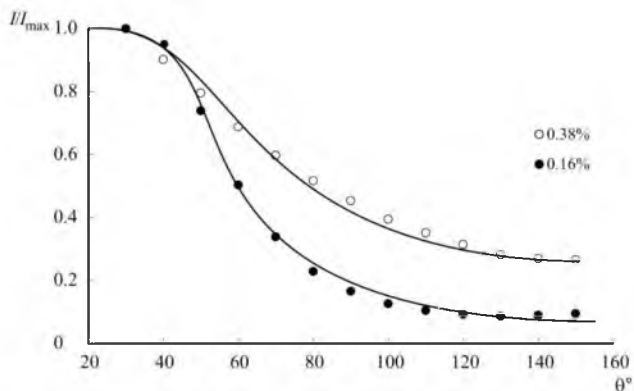


Рисунок 1 - Индикатрисы рассеяния света магнитными эмульсиями с различной концентрацией магнитных капель

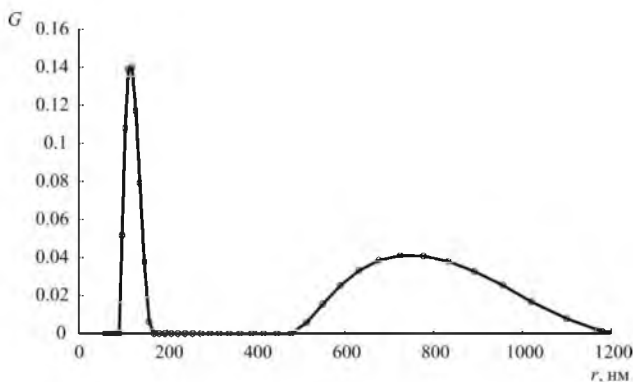


Рисунок 2 - Распределение магнитных капель по размерам, полученное по данным динамического рассеяния света

Магнитооптический эффект во внешнем поле оценивался по величине параметра относительного изменения оптической плотности [6]:

$$\delta D = \frac{D - D_0}{D_0} = \frac{1}{D_0} \cdot \lg \frac{I_0}{I} \quad (3)$$

Здесь I и I_0 – интенсивности прошедшего и падающего света соответственно, а D_0 – оптическая плотность системы в отсутствие поля.

На рисунке 3 приведены результаты магнитооптического эффекта в магнитной эмульсии с объемной концентрацией магнитных капель 1% в зависимости от амплитуды импульса магнитного поля (длительность импульса 8 с, период следования 20 секунд). Магнитное поле было направлено вдоль направления лазерного луча.

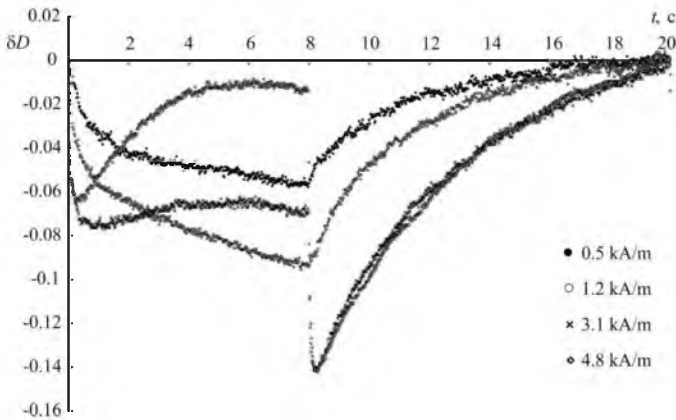


Рисунок 3 - Изменение оптической плотности магнитной эмульсии под действием импульсного магнитного поля

При включении магнитного поля в такой конфигурации оптическая плотность системы уменьшается (эмульсия становится более прозрачной, параметр магнитооптического эффекта $\delta D < 0$). Было обнаружено, что при выключении магнитного поля напряженностью выше 1,5 кА/м релаксация имеет необычный для магнитооптических эффектов характер (см. рис. 3). В течение 0,1-0,3 с после выключения поля оптическая плотность системы резко уменьшается, значительно превышая по модулю значение эффекта при воздействии поля, а затем уменьшается по закону, близкому к экспоненте, до значения D_0 . Эффект становится более выраженным при увеличении амплитуды импульса поля (рис. 3). Время релаксации эффекта составляет 3-4 с (рис. 4).

Согласно [6], релаксация электро- или магнитооптического эффекта описывается выражением:

$$\delta D(t) = \delta D_{\max} \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right), \quad (4)$$

где τ - время релаксации эффекта. В случае ориентационных оптических эффектов (двойное лучепреломление, дихроизм) время релаксации определяется коэффициентом вращательной броуновской диффузии. В магнитных эмульсиях на водной основе магнитооптический эффект, по-видимому, не является ориентационным, и релаксация после выключения поля определяется поступательной диффузией отдельных капель. После выключения поля возникшие цепочечные агрегаты из микрокапель эмульсии разрушаются под действием теплового движения. Время релаксации в таком случае можно оценить по формуле:

$$\tau \approx \frac{L^2}{D_t}, \quad (5)$$

где L – среднее расстояние между цепочечными агрегатами из микрокапель. Оценка этого времени с использованием данных микроскопических наблюдений дает значения порядка 5-10 с, что хорошо согласуется с экспериментальными данными с учетом того, что в микроскоп отчетливо видны наиболее крупные и соответственно наиболее «медленные» капли.

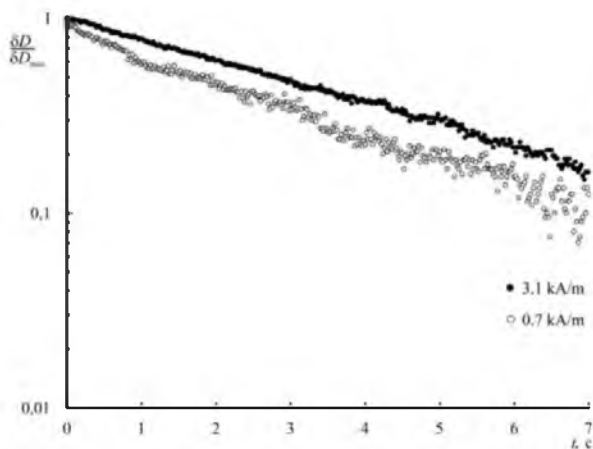


Рисунок 4 - Кривые релаксации магнитооптического эффекта после выключения магнитного поля

Эффект изменения оптической плотности в продольном поле может быть интерпретирован объединением капель эмульсии в цепочки и последующим вторичным агрегированием цепей в более крупные структуры. После выключения поля структура цепочечного агрегата становится рыхлой и он распадается за счет броуновской диффузии отдельных микрокапель.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 16-03-00054а).

- Литература:**
1. Закинян А., Диканский Ю. Магнитные и электрические свойства магнитных эмульсий. Саарбрюккен–Москва, LAP Lambert Academic Publishing, 2011. 146 с.
 2. Диканский Ю.И., Нечаева О.А., Закинян А.Р., Константинова Н.Ю. Эффекты структурных превращений в магнитных эмульсиях // Коллоидный журнал. 2007. Т. 69, № 6, С. 737-741.
 3. Ерин К.В., Куникин С.А. Эффект изменения оптической плотности магнитной эмульсии в электрическом и магнитном полях // Оптика и спектроскопия. 2008. Т. 104, №2. С.319-323.
 4. Pecora R. Dynamic light scattering measurement of nanometer particles in liquids // Journal of Nanoparticle Research. 2000. V.2(2). P. 123-131.
 5. Левич В.Г. Физико-химическая гидродинамика. М.: ФИЗМАТГИЗ, 1959. 700 с.
 6. Хлебцов Н.Г. Ослабление и рассеяние света в дисперсных системах. Саратов, 2001. 80 с.

СПЕКТРАЛЬНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ КОМПЛЕКСНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ КОНЦЕНТРИРОВАННЫХ МАГНИТНЫХ ЖИДКОСТЕЙ

Ерин К.В., Лыхманова В.И., Ерина М.В.

Северо-Кавказский федеральный университет

Институт математики и естественных наук

355009, г. Ставрополь, ул. Пушкина 1; e-mail: exiton@inbox.ru

Под действием магнитного поля в магнитных жидкостях возникает ряд оптических эффектов: двойное лучепреломление, дихроизм,