

Фазовые переходы в магниточувствительных эмульсиях
Закиян Артур Робертович, Константинова Наталья Юрьевна
студенты

Ставропольский государственный университет, Ставрополь, Россия
zakinyan@mail.ru

Научный руководитель: проф., д. ф-м. н. Диканский Ю. И.

В последнее время предпринимаются попытки создания на основе ферроколлоидов (магнитных жидкостей) новых композиционных жидких намагничивающихся сред, способных более эффективно взаимодействовать с магнитным полем. К ним следует отнести магниточувствительные эмульсии. Настоящая работа посвящена исследованию структурных превращений в таких эмульсиях и связанных с ними особенностей их магнитных свойств.

Магнитная эмульсия была приготовлена путем диспергирования авиационного масла в несмешивающейся с ним магнитной жидкости (МЖ) на основе керосина. Межфазное натяжение на границе между маслом и магнитной жидкостью сравнительно мало ($\sigma \cong 10^{-6}$ Н/м). Благодаря этому, при действии магнитного поля на такую эмульсию, капли ее дисперсной фазы способны деформироваться и принимать форму вытянутых эллипсоидов вращения, что приводит к изменению макроскопических свойств эмульсии, в частности ее магнитных свойств. Кроме того, вследствие малости межфазного натяжения возможно обращение эмульсии при увеличении объемной доли дисперсной фазы. Были проведены исследования магнитной проницаемости эмульсии. В частности изучалось влияние на ее величину внешнего постоянного однородного магнитного поля, а также зависимость магнитной проницаемости эмульсии от объемной доли дисперсной фазы. При объемной концентрации дисперсной фазы $\varphi \sim 50\%$ наблюдалось обращение фаз эмульсии – эмульсия из системы микрокапель масла, взвешенных в МЖ, превратилась в систему микрокапель МЖ, взвешенных в масле. Полученная концентрационная зависимость магнитной проницаемости эмульсии представлена на рис. 1, где по оси абсцисс отложена объемная доля МЖ в эмульсии (φ_m), а по оси ординат – магнитная проницаемость эмульсии (μ), экспериментальные точки показаны знаком \circ . Концентрационная зависимость имеет перегиб вблизи концентрации $\varphi_m \approx 0.5$, свидетельствующий об изменении фазового состояния эмульсии и соответствующий ее обращению. Действие внешнего магнитного поля изменяет ход концентрационной зависимости, в частности, практически исчезает перегиб кривой, как это показано на рис. 1 (экспериментальные точки отмечены знаком $+$). При этом участок концентрационной зависимости, соответствующий дисперсии капель МЖ в масле проходит выше, а дисперсии капель масла в МЖ – ниже, чем соответствующие участки зависимости в отсутствие магнитного поля.

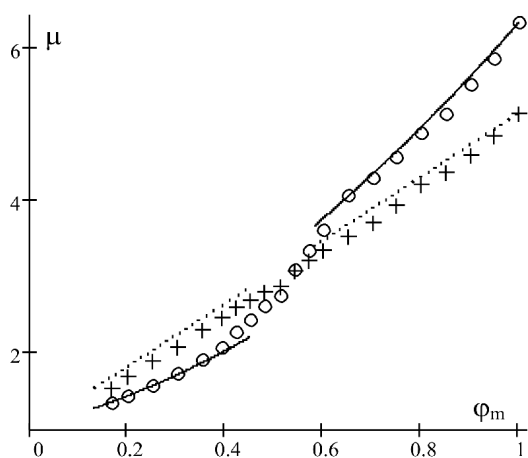


Рис. 1.

Вытяжение капель эмульсии в магнитном поле происходит независимо от соотношения фаз и приводит к уменьшению размагничивающего фактора N каждой капли, что проявляется в увеличении магнитной проницаемости эмульсии в целом. При этом действие магнитного поля на исходную МЖ вызывает уменьшение ее магнитной проницаемости. Действие этих противоположных факторов приводит к наличию максимумов в полученных зависимостях проницаемости эмульсии от напряженности внешнего магнитного поля (рис. 2; \circ – экспериментальные точки для эмульсии МЖ в масле, \times – для масла в МЖ).

В случае, когда дисперсная фаза представлена МЖ, наблюдается более значительное

первоначальное увеличение проницаемости. При некоторых значениях напряженности поля проницаемость эмульсии МЖ в масле, всегда оказывается больше ее проницаемости в отсутствие поля, а проницаемость эмульсии масла в МЖ наоборот оказывается меньше проницаемости в отсутствие поля. Из-за этого в первом случае концентрационная зависимость проницаемости проходит выше, а во втором – ниже соответствующей зависимости, полученной в отсутствие поля, чем объясняется сглаживание концентрационной зависимости, получаемой при воздействии магнитного поля. Т.о., можно заключить, что эффект обращения эмульсии проявляется в значимом изменении характера ее намагничивания.

Для объяснения наблюдаемых закономерностей был проведен теоретический анализ описанных явлений. Было получено выражение для магнитной проницаемости эмульсии:

$$\mu = \mu_e + \mu_e \frac{(\mu_i - \mu_e)\phi}{\mu_e + N(\mu_i - \mu_e)(1 - \phi)}, \quad (1)$$

где μ_i , μ_e – магнитные проницаемости дисперсной фазы и дисперсионной среды эмульсии соответственно. Согласно полученному выражению магнитная проницаемость эмульсии нелинейно

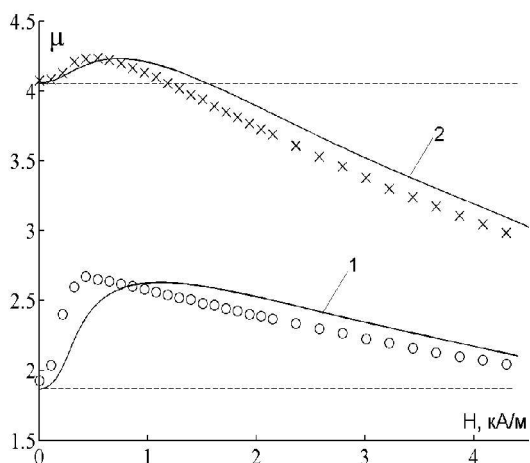


Рис. 2

зависит от ее концентрации. Она зависит и от внешнего магнитного поля через величину размагничивающего фактора N и величину магнитной проницаемости магнитной компоненты (магнитной жидкости) эмульсии, которая тоже зависит от поля. Зависимость размагничивающего фактора от напряженности внешнего магнитного поля определяется выражением, дающим связь эксцентриситета капли (e) с величиной внешнего поля:

$$H^2 = \frac{2\sigma}{\mu_0 \mu_e R} \left(\frac{\mu_e}{\mu_i - \mu_e} + N \right)^2 \frac{(3 - 2e^2)/e^2 - (3 - 4e^2) \arcsin e / (e^3(1 - e^2)^{1/2})}{(1 - e^2)^{2/3} [(3 - e^2) \ln((1 + e)/(1 - e)) / e^5 - 6/e^4]}, \quad (2)$$

где R – радиус невозмущенной капли, т.е. в отсутствие действия на нее магнитного поля. Совокупность уравнений (1), (2), а также известное выражение связи величин N и e являются искомым решением задачи о магнитной проницаемости эмульсии. Задача не имеет точного аналитического решения и решается численно.

На рис. 1 показана теоретическая зависимость магнитной проницаемости эмульсии от объемной доли МЖ (сплошная линия соответствует зависимости, получаемой в отсутствие поля; пунктирная – в поле $H = 2.6$ кА/м). Наблюдается хорошее согласие теории и экспериментальных данных. Различный характер реакции эмульсии на поле в случаях, когда она представляет дисперсию капель МЖ в масле и масла в МЖ виден на примере зависимости проницаемости эмульсии от поля H (рис. 2). Кривая 1 соответствует теоретической зависимости, полученной для эмульсии МЖ в масле, кривая 2 – теоретическая зависимость для эмульсии масла в МЖ. Обе зависимости построены для объемного содержания дисперсной фазы 35 %. Рис. 2 также демонстрирует изменение свойств эмульсии при ее обращении. Отметим, что обращение эмульсии происходит не сразу, в области концентраций $0.4 \leq \phi_m \leq 0.6$ эмульсия проявляет промежуточные свойства. Это связано с тем, что в указанном диапазоне концентраций наблюдаются локальные обращения в ограниченном объеме, не охватывающие всей эмульсии. При дальнейшем увеличении концентрации одной из фаз число таких локальных обращений и охватываемый ими объем эмульсии растут до тех пор, пока не произойдет полное обращение эмульсии во всем ее объеме. Анализ проведенных исследований позволяет сделать вывод о возможности эффективного

управления свойствами изученных эмульсий с помощью магнитного поля.