

УДК 537.622.3-022.532:543.422.3-74

© А. И. Жерновой, Ю. В. Улашкевич, С. В. Дьяченко

ИССЛЕДОВАНИЕ ИНФРАКРАСНОГО СПЕКТРА ПОГЛОЩЕНИЯ МАГНИТНОЙ ЖИДКОСТИ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ (КРАТКОЕ СООБЩЕНИЕ)

Наблюдалось резонансное поглощение энергии инфракрасного излучения магнитной жидкостью, содержащей однодоменные наночастицы магнетита, при помещении ее в магнитное поле. Высказано предположение, что поглощение энергии излучения вызвано вынужденной переориентацией магнитных моментов однодоменных наночастиц в магнитном поле.

Кл. сл.: магнитная жидкость, однодоменные ферромагнитные наночастицы, поглощение энергии инфракрасного излучения

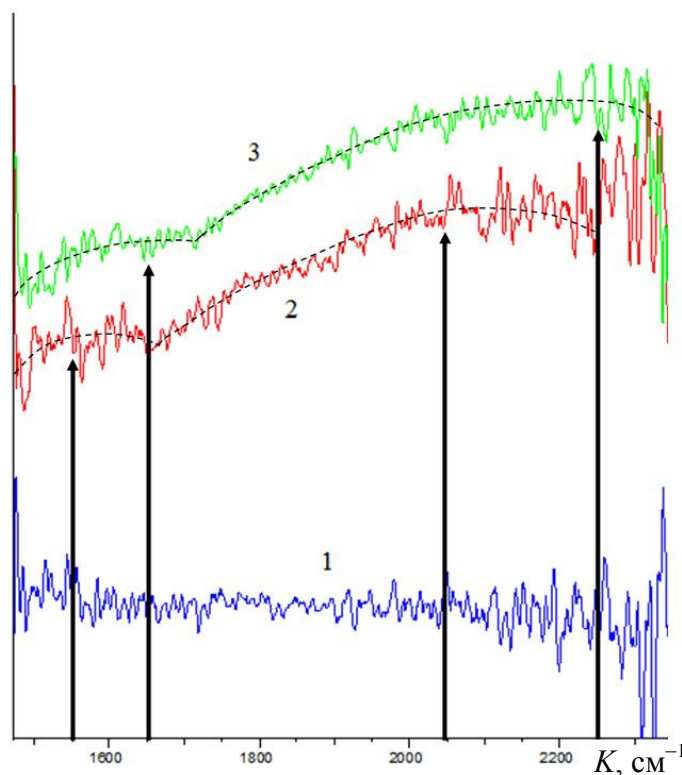
ВВЕДЕНИЕ

Магнитная жидкость — коллоидный раствор однодоменных ферромагнитных наночастиц, имеющих магнитные моменты P порядка 10^{-19} Ам², т. е. на пять порядков больше магнетона Бора. При помещении магнитной жидкости в магнитное поле с индукцией B ферромагнитные наночастицы приобретают дополнительную энергию $W = -PB \cos \alpha$, где α — угол между направлениями $\mathbf{P}$ и $\mathbf{B}$ (по аналогии с дополнительной энергией атомов в магнитном поле назовем ее энергией Зеемана). При этом имеется два равновесных состояния, в которых на магнитные моменты наночастиц со стороны магнитного поля не действует вращающий механический момент: состояние 1 с энергией Зеемана $W_1 = -PB$, когда $\alpha = 0$, и состояние 2 с энергией Зеемана $W_2 = PB$, когда $\alpha = 180^\circ$. При пропускании через магнитную жидкость, находящуюся в магнитном поле, ИК-излучения с резонансной частотой $F_{\text{рез}}$, при которой фотоны имеют энергию $hF_{\text{рез}} = W_2 - W_1$ (h — постоянная Планка), будут происходить вынужденные переходы магнитных моментов наночастиц между состояниями 1 и 2. При вынужденном переходе наночастицы из состояния 1 в состояние 2 вынуждающий фотон поглощается, а при переходе наночастицы из состояния 2 в состояние 1 вынуждающий фотон удваивается. Так как вследствие распределения Больцмана количество наночастиц с энергией Зеемана W_1 превышает количество наночастиц с энергией Зеемана W_2 , число переходов наночастиц из состояния 1 в состояние 2 превышает число обратных переходов, поэтому действие магнитного поля на магнитную жидкость должно уменьшать интенсив-

ность ИК-излучения с частотой $F_{\text{рез}}$. Это можно заметить по появлению при наложении на магнитную жидкость магнитного поля с индукцией B линии поглощения ИК-излучения с длиной волны $\lambda_{\text{рез}} = c / F_{\text{рез}} = c h / (2PB)$ и волновым числом $K_{\text{рез}} = 1 / \lambda_{\text{рез}} = 2PB / (c h)$.

ЭКСПЕРИМЕНТ

Для проведения исследований был взят коллоидный раствор наночастиц магнетита в растворителе, слабо поглощающем инфракрасное излучение (керосине), стабилизированный солью олеиновой кислоты. Для получения ИК-спектра поглощения раствора был применен инфракрасный спектрометр PERKIN ELMER с диапазоном волновых чисел K от 500 до 5500 см⁻¹. На рисунке приведены спектры поглощения магнитной жидкостью ИК-излучения без наложения внешнего магнитного поля (кривая 1) и при наложении внешнего магнитного поля с индукцией $B_0 = 0.075$ Тл (кривая 2) и с индукцией $B_0 = 0.085$ Тл (кривая 3). Эти зависимости были получены вычитанием спектра пропускания магнитной жидкости, снятого без наложения поля, из спектров пропускания той же жидкости, снятых с наложением поля. По оси абсцисс отложено волновое число K , по оси ординат отложено уменьшение интенсивности прошедшего через магнитную жидкость ИК-излучения, вызванное наложением на нее магнитного поля. Применялась кювета с окошками и вкладышем из флюорита (CaF₂) с толщиной слоя магнитной жидкости 0.11 мм.



ИК-спектр поглощения магнитной жидкости во внешнем магнитном поле с индукцией B_0 .
Кривая 1 — при $B_0 = 0$ Тл, кривая 2 — при $B_0 = 0.075$ Тл, кривая 3 — при $B_0 = 0.085$ Тл

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Результаты, приведенные на рисунке, показывают, что наложение магнитного поля на магнитную жидкость вызывает уменьшение интенсивности луча проходящего через нее ИК-излучения. Затухание луча возрастает с увеличением индукции B и с увеличением K . Возрастание затухания инфракрасного излучения при наложении магнитного поля можно объяснить его рассеянием на конгломератах наночастиц, образующихся в магнитной жидкости при наложении магнитного поля. Усиление рассеяния при увеличении волнового числа K можно объяснить проявлением закона Рэлея. Для того чтобы на рисунке обнаружить линии резонансного поглощения инфракрасного излучения, оценим, при каких значениях волнового числа $K_{\text{рез}}$ это поглощение можно ожидать. Измеренное способом, описанным в работе (см. ссылку), значение среднего магнитного момента наночастицы в исследуемой магнитной жидкости $P \approx 2 \cdot 10^{-19}$ Ам². Подставив это значение P в выражение $K_{\text{рез}} = 2PB_0 / (hc)$, где h — постоянная Планка, c — скорость света, получаем для $B_0 = 0.075$ Тл (см. рисунок, кривая 2) $K_{\text{рез}} = 1515$ см⁻¹ и для $B_0 = 0.085$ Тл (см. рисунок, кривая 3) $K_{\text{рез}} = 1717$ см⁻¹. На экспериментальных кривых на рисунке, полу-

ченных с наложением на жидкость магнитного поля, имеются одиночные линии поглощения с максимумами при близких к ожидаемым значениям волновых чисел $K \approx 1550$ (кривая 2) и $K \approx 1650$ (кривая 3) (максимумы этих линий указаны стрелками). Однако на этих экспериментальных кривых можно заметить также более широкие одиночные линии с максимумами при волновых числах $K \approx 2050$ (кривая 2) и $K \approx 2250$ (кривая 3) (эти максимумы также указаны стрелками). Появление при одной индукции внешнего магнитного поля B_0 двух резонансных линий можно объяснить тем, что часть наночастиц совершает переход в создаваемом магнитом внешнем магнитном поле с индукцией B_0 , а другая часть наночастиц совершает переход в магнитном поле с индукцией B , равной сумме индукции B_0 и индукций магнитных полей, создаваемых соседними наночастицами. Можно предположить, что переориентация магнитного момента относительно индукции магнитного поля B_0 происходит у одиночных наночастиц, а переориентация магнитного момента относительно индукции магнитного поля B происходит у наночастиц, связанных в конгломераты с другими наночастицами. Судя по площадям линий резонансного поглощения, свободных наночастиц значительно меньше, чем

связанных в конгломераты с другими наночастицами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Присутствие в магнитной жидкости линии поглощения ИК-излучения с резонансной частотой, увеличивающейся с ростом индукции внешнего магнитного поля, подтверждает возможность наблюдения магнитного резонанса однодоменных наночастиц. Положение и форма линии, возникающей в результате переориентации магнитных моментов наночастиц во внешнем магнитном поле с известной индукцией B_0 , дают возможность исследовать функцию распределения магнитных моментов наночастиц, а положение и форма второй линии позволяют исследовать функцию распределения локальных магнитных полей в конгломератах наночастиц.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Жерновой А.И., Наумов В.Н., Рудаков Ю.Р. Получение кривой намагничивания дисперсии парамагнитных наночастиц путем нахождения намагнитченности и намагничивающего поля методом ЯМР // Научное приборостроение. 2009. Т. 19, № 3. С. 57–61. URL: <http://213.170.69.26/mag/2009/full3/Art8.pdf>.

Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)

Контакты: *Жерновой Александр Иванович*,
azhspb@rambler.ru

Материал поступил в редакцию: 15.04.2016

MAGNETIC FLUID IN MAGNETIC FIELD INFRARED ABSORPTION SPECTRA INVESTIGATION (SHORT MESSAGE)

A. I. Zhernovoy, Yu. V. Ulashkevich, S. V. Diyachenko

Saint-Petersburg State Institute of Technology (Technical University), Russia

The appearance of resonant energy absorption of infrared electromagnetic radiation in magnetic fluid, containing single-domain magnetite nanoparticles, was observed, when placed in a magnetic field. It is suggested, that the energy absorption caused by the forced reorientation of the magnetic moments of nanoparticles in an external magnetic field.

Keywords: magnetic fluid, single-domain ferromagnetic nanoparticles, absorption of energy of infrared radiation

REFERENCES

Zhernovoy A.I., Naumov V.N., Rudakov Yu.R. [Paramagnetic nanoglobules dispersion curve definition via magnetization and magnetizable field using NMR method]. *Nauchnoe Priborostroenie* [Scientific Instru-

mentation], 2009, vol. 19, no. 3, pp. 57–61. URL: <http://213.170.69.26/mag/2009/full3/Art8.pdf>.

Contacts: *Zhernovoy Aleksandr Ivanovich*,
azhspb@rambler.ru

Article received in edition: 15.04.2016