

УДК 541: 537

© А. И. Жерновой, Ю. Р. Рудаков, С. В. Дьяченко

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОМ ЯМР ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАКОНА КЮРИ В ЗОЛЯХ ПАРАМАГНИТНЫХ НАНОЧАСТИЦ

Методом ЯМР исследовалась температурная зависимость магнитной восприимчивости аквазоля наночастиц магнетита на начальном участке кривой намагничивания. Показано, что она адекватна закону Кюри.

Кл. сл.: коллоидный раствор, парамагнитные наночастицы, магнитная восприимчивость, закон Кюри

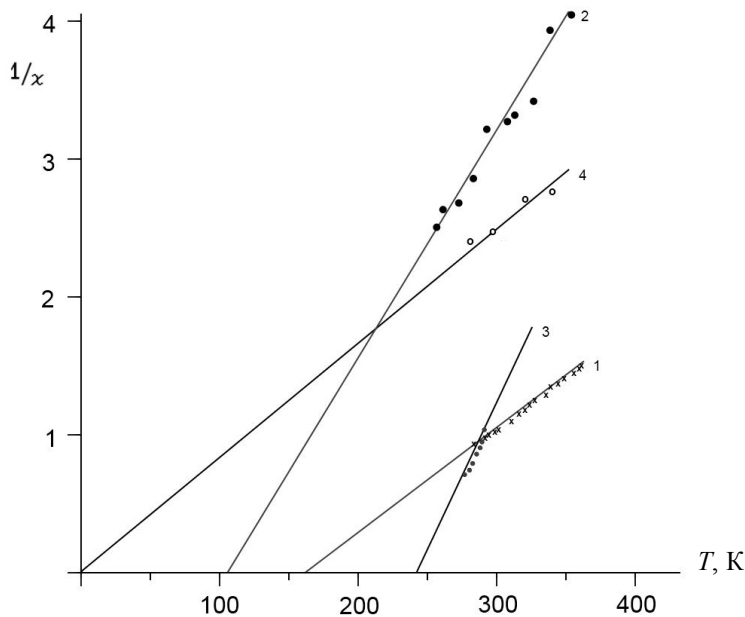
ВВЕДЕНИЕ

Известно несколько работ, посвященных зависимости магнитной восприимчивости χ золь парамангнитных наночастиц от температуры. В работе [1] магнитная восприимчивость определялась по изменению индуктивности соленоида при внесении в него образца в виде коллоидного раствора магнетита в керосине с объемной концентрацией твердой фазы 25 %. Была получена зависимость величины $1/\chi$ от температуры, она приведена на рисунке — линия 1. Зависимость χ от абсолютной температуры T подчиняется закону Кюри—Вейсса с температурой Кюри около 160 К. В работе [2] при помощи аналогичной методики исследовалась зависимость χ от T растворов магнетита в керосине с объемными концентрациями твердой фазы от 1.3 до 8.2 %. Одна из этих зависимостей, полученная при концентрации 3 %, близкой к концентрации, использованной в настоящей работе, приведена на рисунке кривой 2. Зависимость описывается законом Кюри—Вейсса с температурой Кюри 110 К. Экспериментальная зависимость χ от температуры, полученная электромагнитным методом для золя наночастиц кобальта [3], приведена на рисунке кривой 3. Зависимость описывается законом Кюри—Вейсса с температурой Кюри 240 К. Во всех упомянутых работах намагниченность определялась по отличию индукции магнитного поля в образце от индукции внешнего магнитного поля, а магнитная восприимчивость χ определялась, как отношение намагниченности к напряженности внешнего магнитного поля. Метод ЯМР позволяет измерять напряженность магнитного поля H внутри суспензии парамагнитных наночастиц. Это дает возможность определять намагниченность по отличию индукции магнитного поля в образце от $\mu_0 H$, а магнитную восприимчивость χ находить, как отношение намагниченности к H . Поэтому исследование зависимости χ от T

методом ЯМР должно давать экспериментальный результат, адекватный теории Ланжевена.

ЭКСПЕРИМЕНТ

Исследовался коллоидный раствор в воде наночастиц магнетита с объемной концентрацией твердой фазы 2.7 % и стабилизатором на основе олеиновой кислоты. Исследовалась зависимость магнитной восприимчивости и константы Кюри на начальном участке кривой намагничивания от температуры. Магнитная восприимчивость χ определялась по отношению намагниченности J к индукции магнитного поля B внутри раствора: $\chi = \mu_0 J / B$. Намагниченность J определялась, как разность $J = B / \mu_0 - H$, где H — напряженность магнитного поля внутри раствора. Константа Кюри C определялась, как произведение магнитной восприимчивости на температуру $C = \chi \cdot T$. Для измерения напряженности внешнего поля H_0 , напряженности H и индукции B магнитного поля внутри раствора была применена методика, описанная в работе [4]. Для этого в образце исследуемого коллоидного раствора, помещенного в магнитное поле с напряженностью H_0 , были сделаны две плоские полости: одна — параллельная, другая — перпендикулярная напряженности H_0 . В эти полости были помещены датчики ЯМР для измерения магнитного поля. При этом датчик, расположенный в первой полости, измерял H , а датчик, расположенный во второй полости, измерял B . Полученные экспериментальные результаты приведены на рисунке кривой 4. По оси ординат отложены обратные значения полученных магнитных восприимчивостей χ , а по оси абсцисс значения температур. Можно убедиться, что полученная экспериментальная зависимость адекватна закону Кюри $\chi = C / T$. Полученное по зависимости 4 на рисунке экспериментальное значение



Экспериментальные зависимости магнитной восприимчивости χ от температуры T , полученные в работах [1] (кривая 1), [2] (кривая 2), [3] (кривая 3) и в настоящей работе (кривая 4)

константы Кюри $C = 120$ К. Это значение соответствует теоретической формуле $C = J_n P_m \mu_0 / 3 k$ при значениях намагниченности насыщения $J_n = 8100$ А/м² и магнитного момента наночастицы $P_m = 4.9 \cdot 10^{-19}$ А/м², близким к полученным экспериментально в работе [4].

ВЫВОДЫ

Из полученных результатов можно сделать заключение, что золи однодоменных ферромагнитных наночастиц на начальном участке кривой намагничивания подчиняются закону Кюри, то есть являются истинными парамагнетиками. Следовательно, на их основе может быть создан способ измерения температуры в абсолютной термодинамической шкале.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Диканский Ю.И. // Магнитная гидродинамика. 1982, № 3. С. 33–36.

2. Варламов Ю.Д. // Сб. Теплофизические свойства индивидуальных веществ и растворов. Новосибирск, 1986. С. 84–100.
3. Блум Э.Я., Майоров М.М., Цербер А.Б. Магнитные жидкости. Рига: Зинатне, 1989. 386 с.
4. Жерновой А.И., Наумов В.Н., Рудаков Ю.Р. // Научное приборостроение. 2009. Т. 19, № 3. С. 57–61.

СПбГТИ (ТУ), г. Санкт-Петербург

Контакты: Жерновой Александр Иванович,
azhsppb@rambler.ru

Материал поступил в редакцию 5.07.2011.

NMR METHOD FOR CURIE'S LAW COMPLIANCE IN COLLOID SOLUTIONS OF PARAMAGNETIC NANOPARTICLES

A. I. Zhernovoy, Yu. R. Rudakov, S. V. Diyachenko

Saint-Petersburg State Institute of Technology (Technical University)

Temperature dependence of parametric nanoparticles colloid solution magnetic susceptibility at the beginning of magnetization curve was studied by NMR method. Magnetic susceptibility was defined as relation between magnetization and tension H of magnetic field inside the sample. Magnetization was defined by difference between induction of magnetic field inside the sample and $\mu_0 H$ value. The relation obtained is described by Curie's law.

Keywords: colloid solution of paramagnetic nanoparticles, magnetic susceptibility, Curie's law