

- [1] Милль Б.В., Буташин А.В., Ходжабагян Г.Г. Белоконева Е.Л., Белов Н.В. ДАН СССР **264**, 6, 1385 (1982).
- [2] Kaminskii A.A., Mill B.V., Khodzhabagyan G.G., Konstantinova A.F., Okorochkov A.I., Silvestrova I.M. Phys. Stat. Sol. (a) **80**, 1, 387 (1983).
- [3] Сирота Н.Н., Антюхов А.М., Новиков В.В., Федоров В.А. ДАН СССР **259**, 2, 362 (1981).
- [4] Сирота Н.Н. Термодинамика и статистическая физика. Минск. (1969). 470 с.
- [5] Попов П.А., Антонов А.В., Иванов И.А., Сидоров А.А. ФТТ **31**, 10, 287 (1989).
- [6] Попов П.А. Канд. дис. Брянск (1993). 214 с.
- [7] Охотин А.С., Боровикова Р.П., Нечаева Т.В., Пушкарский А.С. Теплопроводность твердых тел. Справочник / Под ред. А.С.Охотина М. (1984). 320 с.
- [8] Сильвестрова И.М., Писаревский Ю.В., Сеньющенков П.А., Крупный А.И. ФТТ **28**, 9, 2875 (1986).

*Физика твердого тела, том 38, № 1, 1996*  
*Solid State Physics, vol. 38, N 1, 1996*

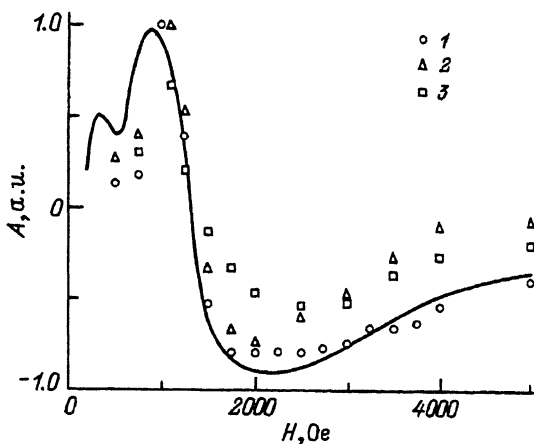
## ВЛИЯНИЕ СПОНТАННОЙ МАГНИТОСТРИКЦИИ НА СИГНАЛЫ ЯДЕРНОГО СПИНОВОГО ЭХА В $\text{FeVO}_3$

© *Х.Г.Богданова, В.А.Голенищев-Кутузов, М.И.Куржин,  
М.М.Шакирзянов*

Казанский физико-технический институт Российской академии наук,  
420029 Казань, Россия  
(Поступило в Редакцию 21 июня 1995 г.)

При изучении сигналов ЯМР в легкоплоскостном аниферромагнетике  $\text{FeVO}_3$  обнаружен ряд особенностей <sup>[1-3]</sup>, которые не укладывались в существующие представления о поведении сигналов ЯМР в магнитоупорядоченных веществах. В частности, в <sup>[3]</sup> была обнаружена необычная зависимость интенсивности сигнала ядерной магнитной индукции  $I_n$  от величины постоянного магнитного поля  $H$ : вместо ожидаемой осциллирующей зависимости кривая  $I_n(H)$  имела вид сигнала дисперсии. Положение максимума и минимума на этой кривой и их зависимость от мощности возбуждающего импульса удалось объяснить, предположив сильную неоднородность полей спонтанной магнитострикции  $H_{ms}$  (СМС) в базисной плоскости  $\text{FeVO}_3$ , величины которых распределены в интервале  $0 \leq H_{ms} \leq 1$  Ое. При этом с учетом обменного усиления для эффективного поля  $H_{ms}^{\text{eff}}$  ( $H_{ms}^{\text{eff}} = H_m/H_E$ , где  $H_E \simeq 10^6$  Ое — обменное поле в  $\text{FeVO}_3$  <sup>[4]</sup>) соответствующий интервал значений оказывается порядка  $0 \leq H_{ms}^{\text{eff}} \leq 1$  кОе. Заметим, что поля СМС проявляются на фоне очень малой кристаллографической анизотропии, характерной для кристаллов  $\text{FeVO}_3$ . Таким образом, при не очень больших значениях постоянного магнитного поля  $H \leq 2000$  Ое, на наш взгляд, при расчетах сигналов ЯМР в этих веществах необходимо учитывать наличие в образце достаточно сильных полей СМС. В этом случае коэффициент усиления запишется в виде

$$\eta = H_n / (H + \Delta H), \quad (1)$$



Зависимости интенсивностей ССИ (1), обычного (2) и стимулированного (3) эхо-сигналов от величины постоянного магнитного поля  $H$ .  $\Delta P = 13$  dB. Точки — эксперимент, линия — теоретическая кривая для ССИ.

где  $\Delta H = 2H_{ms}H_E/H_D$ ,  $H_n$  — сверхтонкое поле на ядре (в  $\text{FeVO}_3$   $H_n \approx 550$  kOe),  $H_D$  — поле Дзялошинского ( $H_D = 70$  kOe). Согласно (1), значительная неоднородность полей  $H_{ms}$  определяет существенную неоднородность коэффициента усиления, учет которой при расчетах сигнала свободной индукции дал хорошее согласие с экспериментом [3]. Подробно методика расчета сигналов ЯМР с учетом разброса полей СМС изложена в [3]. В отличие от работы [3], где применяется термин «поле наведенной магнитоупругой анизотропии», здесь мы использовали более известный в литературе термин «поле спонтанной магнитострикции».

Исходя из общих физических принципов формирования сигналов индукции и эха [5], можно предположить, что неоднородность полей СМС также должна проявляться в зависимостях интенсивностей сигналов эха от постоянного поля. Чтобы проверить это предположение, были проведены измерения интенсивностей сигналов для двух- и трехимпульсного эха от величины постоянного поля на тех же образцах  $\text{FeVO}_3$  [3].

Исследования сигналов эха проводились на импульсном спектрометре ЯМР Брукер при  $T = 77$  К в магнитных полях от  $10^2$  до  $4 \cdot 10^3$  Oe. Длительность импульсов равнялась  $\tau_i \approx 2 \mu\text{s}$  была постоянной. Задержка между первым и вторым импульсами составляла  $\tau_{1,2} \approx 0.3 \mu\text{s}$ . Для наблюдения стимулированного эха подавался третий импульс через  $\tau_{2,3} \approx 1 \mu\text{s}$  после второго импульса. Все импульсы были когерентны по фазе РЧ-сигнала и представляли собой  $\Pi/2$ -импульсы. Частота заполнения импульсов соответствовала частоте резонансных переходов ядер  $^{57}\text{Fe}$  в  $\text{FeVO}_3$  и составляла  $\nu = 75.395$  Hz. Постоянное и переменное магнитные поля прикладывались в легкой плоскости (111) образца перпендикулярно друг другу.

Результаты измерений зависимости интенсивностей обычного ( $I_e$ ) и стимулированного ( $I_{es}$ ) эхо-сигналов от  $H$  показаны на рисунке, где приведены экспериментальные кривые  $I_e(H)$  (кривая 2) и  $I_{es}(H)$  (кри-

вая  $\beta$ ) при мощности импульса РЧ-поля, соответствующей ослаблению  $\Delta P \approx 13$  dB.

Как видно из рисунка, полевая зависимость интенсивности эха не обнаруживает осцилляций, которые можно было бы ожидать в области малых магнитных полей ( $H \leq 2000$  Oe). Предположение об осцилляциях интенсивностей эха (так же как и индукции) следует из условия, что сигналы индукции и эха обычно определяются выражением вида [5,6]

$$I_e(H) \sim \sin \theta_1 \sin^2 \theta_2 / 2, \quad I_n(H) \sim \sin \theta,$$

$$I_{es}(H) \sim \sin \theta_1 \sin \theta_2 \sin \theta_3, \quad \theta_i = \eta \gamma H_i \tau_i, \quad (2)$$

где  $H_i$  — амплитуда,  $\tau_i$  — длительность  $i$ -го РЧ-импульса,  $\gamma$  — гиромагнитное отношение. В отсутствие полей СМС ( $\Delta H \sim 0$ ) коэффициент усиления имеет вид  $\eta \approx H_n/H$ , и, как следует из выражений (2), функции  $I_n(\eta)$ ,  $I_{es}(\eta)$  представляют собой осциллирующие функции. В то же время, как показывают расчеты [3], учет разброса коэффициента  $\eta$ , связанного с неоднородностью достаточно сильных полей СМС, обуславливает усреднение этих осцилляций в области малых  $H \leq 2000$  Oe, что хорошо согласуется с экспериментом как для сигналов индукции, так и для сигналов эха.

Для описания зависимости интенсивности сигналов  $I_e$  и  $I_{es}$  от магнитного поля не получается таких простых формул, как для индукции  $I_n(H)$ , приведенной в [3], тем не менее полученные в [3] результаты для  $I_n(H)$  удастся обобщить на эхо сигналы. Это следует из одинакового характера поведения экспериментальных кривых  $I_e(H)$ ,  $I_{es}(H)$  и  $I_n(H)$ , приведенных на рисунке. Действительно, полученные экспериментальные зависимости  $I_e(H)$  и  $I_{es}(H)$ , так же как  $I_n(H)$ , представляют собой скорее кривые дисперсии, чем осциллирующие функции.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (93-02-14026).

#### Список литературы

- [1] Богданова Х.Г., Голенищев-Кутузов В.А., Медведев Л.И., Куркин М.И., Туров Е.А. **95**, 2, 613 (1989).
- [2] Богданова Х.Г., Голенищев-Кутузов В.А., Медведев Л.И., Куркин М.И., Низамиев И.Р., Танкеев А.П. **ЖЭТФ** **103**, 1, 163 (1993).
- [3] Богданова Х.Г., Голенищев-Кутузов В.А., Куркин М.И., Низамиев И.Р., Танкеев А.П., Шакирзянов М.М. **ФТТ** **36**, 7, 1950 (1994).
- [4] Diehl R., Jaants W., Nolang B.I., Wettling W. **Current Topics Mater. SCI** (1984). V. 11, 241 p.
- [5] Куркин М.И., Туров Е.А. **ЯМР в магнитоупорядоченных веществах и его применения**. М. (1990). 248 с.
- [6] Смоленский Г.А., Леманов В.В., Недлин Г.М., Петров М.П., Писарев Р.В. **Физика магнитных диэлектриков**. Л. (1974). 450 с.