

ДИНАМИЧЕСКИЙ СДВИГ ЧАСТОТЫ ЯМР ЯДЕР В ДОМЕННЫХ ГРАНИЦАХ

В.П.Чекмарев, М.П.Петров, А.А.Петров,
В.В.Куликов

Экспериментально доказано наличие динамического сдвига частоты ЯМР ядер Mn^{55} , находящихся в доменных границах в феррите $MnFe_2O_4$.

Известно, что в магнитоупорядоченных кристаллах сверхтонкое взаимодействие электронной и ядерной подсистем приводит к динамическому сдвигу их резонансных частот (ДСЧ) [1]. До настоящего времени экспериментально исследовался эффект ДСЧ и связанные с ним явления в электронно-ядерной системе магнитного иона, находящегося в домене (см., например, [2]). Однако в работе Петрова и Москалева [3] было показано, что ядра магнитных ионов, находящихся в доменной границе также могут обладать заметным ДСЧ ЯМР.

В настоящей работе на основе исследования свойств ядерного спинового эха Mn^{55} ионов Mn^{2+} в марганцевой шпинели $MnFe_2O_4$ впервые экспериментально доказано наличие ДСЧ ЯМР ядер, находящихся в доменных границах. Измерения проводились в диапазоне $570 \div 600$ МГц при $T = 1,6$ К на поликристаллическом образце $MnFe_2O_4$. Было обнаружено, что после воздействия на образец двух радиочастотных (РЧ) импульсов на частотах $583 \div 586$ МГц наблюдаются два сигнала эха ядер Mn^{55} , различающихся по времени появления (рис. 1). Причем, время появления одного из сигналов эха $t = 2\tau_{12} + 2\tau_{и}$ не зависит от условий эксперимента¹⁾, а время появления другого эха зависит от соотноше-

¹⁾ Свойства этого эха ядер Mn^{55} ионов Mn^{2+} , находящихся в доменах достаточно хорошо исследованы [4]. Указанный сигнал наблюдался в диапазоне $575 \div 595$ МГц.

ния мощностей РЧ-импульсов и расстройки между частотой эха и частотой возбуждающих импульсов. При увеличении мощности второго РЧ-импульса время появления этого дополнительного сигнала t уменьшается (рис. 2, б). Максимальное изменение t значительно больше наблюдавшегося в кристаллах с большим ДСЧ [5] и в ряде экспериментов достигало 70% от τ_{12} . Напротив, увеличение мощности первого импульса приводит к удалению дополнительного сигнала эха от РЧ импульсов до $t = 2\tau_{12} + 2\tau_{И}$ и слиянию его с основным сигналом. При трехимпульсной методике аналогично наблюдаются два сигнала стимулированного эха, причем зависимость интенсивности дополнительного стимулированного эха от задержки третьего импульса τ_{13} немонотонна (аналогично $MnCO_3$ [5]). Релаксационные характеристики, оптимальные условия наблюдения дополнительного и основного сигналов эха также сильно различаются, (таблица и рис. 2, а). Анализ свойств дополнительного эха однозначно показывает, что ядра Mn^{55} , исследуемые при наблюдении дополнительного эха обладают динамическим сдвигом частоты ЯМР.

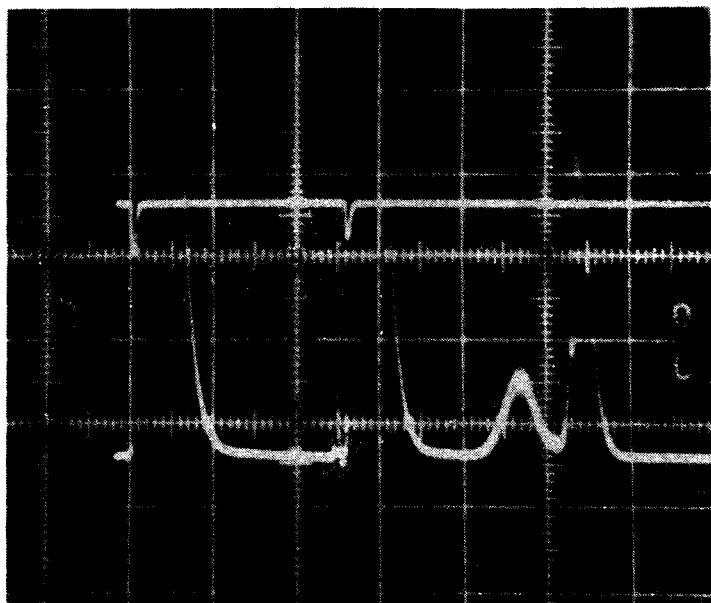


Рис. 1. Дополнительное и основное (справа) двухимпульсные ядерные эхо Mn^{55} в $MnFe_2O_4$. Верхний луч — сигнал с волномера, показывающий расположение и длительности двух РЧ-импульсов, $f_{рч} = 585,7$ МГц, задержка между импульсами $\tau_{12} = 25$ мксек, длительности импульсов $\tau_{И} = \tau_1 = \tau_2 = 1,2$ мксек

Известно, что для ядер в доменах ДСЧ в $MnFe_2O_4$ при $T = 1,6$ К проявляется слабо [4]. Однако можно ожидать, что ДСЧ для ядер в доменных границах будет значительно эффективнее [3], так как резонансные частоты доменных границ и ЯМР могут быть близки по величине. Поэтому, естественно предположить, что ДСЧ, проявляющийся при исследовании

довании дополнительного эха, обусловлен связанными колебаниями ядерной намагниченности и доменных границ. Для проверки этого предположения были проведены исследования во внешнем магнитном поле. Измерения показали, что мощности РЧ импульсов, оптимальные для наблюдения дополнительного эха практически не зависят от величины внешнего магнитного поля H_0 , а интенсивность дополнительного эха падает при $H_0 > 1$ кэ (рис. 3). ($4\pi/3M = 2,34$ кэ для $MnFe_2O_4$ при $T = 1,6$ К). Это указывает на то, что дополнительное эхо происходит от ядер в доменных границах, так как при насыщении образца доменные границы исчезают.

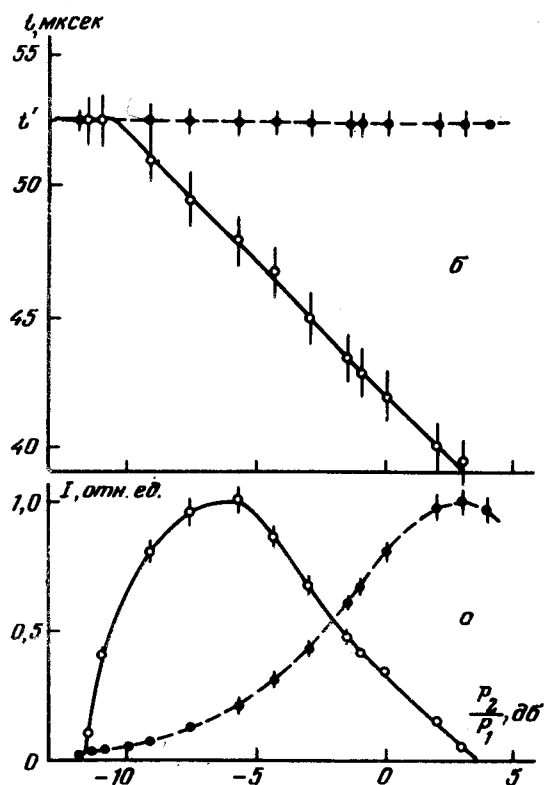


Рис. 2. Зависимость (б) времени появления t и (а) интенсивности I дополнительного и основного (пунктир) эха от соотношения мощностей двух РЧ импульсов, P_2/P_1 . Интенсивности нормированы, $f_{РЧ} = 585,7$ МГц, $\tau_{12} = 25$ мксек, $\tau_{И} = \tau_1 = \tau_2 = 1,2$ мксек, $t = 2\tau_{12} + 2\tau_{И} = 52,5$ мксек

Вид эха	Ширина эха мксек	P_2/P_1	T_2 , мксек	T_1 , мксек
Основное	2 ÷ 3	2	15	70
Дополнительное	5 ÷ 6	0,2	6	1500

Параметры ядерных эхо Mn^{55} в $MnFe_2O_4$ при $T = 1,6$ К. Отношение мощностей РЧ импульсов P_2/P_1 приведено для максимальной интенсивности каждого из эхо (см. рис. 2, а), T_1 и T_2 — эффективные времена продольной и поперечной релаксаций, T_1 измерялось при $\tau_{13} > 3$ мсек и $f_{РЧ} = 585,7$ МГц.

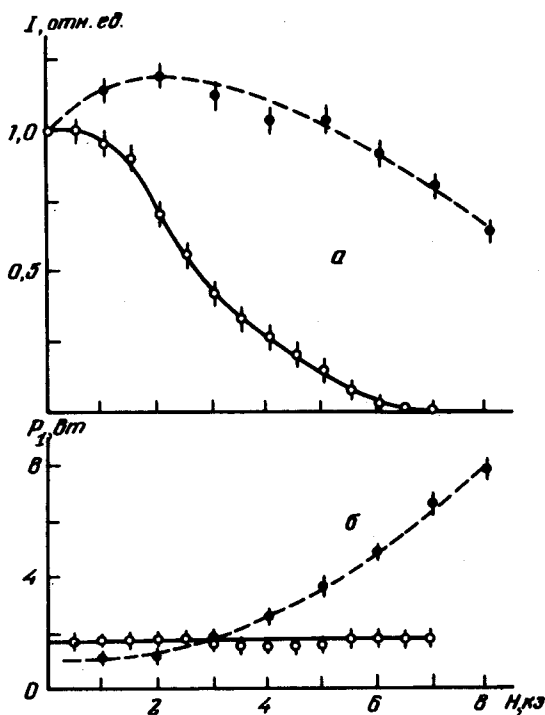


Рис. 3. Зависимость интенсивности эха (а) и оптимальной мощности первого импульса (б) от величины внешнего магнитного поля H_0 для основного (пунктир) и дополнительного сигналов ядерного эха Mn^{55} в $MnFe_2O_4$. Интенсивности эха нормированы

Таким образом, на примере $MnFe_2O_4$ удалось экспериментально показать, что ядра магнитных ионов, находящихся в доменных границах, также могут обладать заметным динамическим сдвигом частоты ЯМР.

Авторы благодарны А.С.Боровику-Романову, М.И.Куркину и Б.С.Думешу за полезные обсуждения, а также Ю.М.Бунькову за подтверждение экспериментальных результатов.

Физический институт
им. А.Ф.Иоффе
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
3 ноября 1976 г.

Литература

- [1] Е.А.Туров, М.П.Петров. ЯМР в ферро- и антиферромагнетиках, М., изд. Наука, 1969 г.
- [2] В.П.Чекмарев, М.П.Петров. ЖЭТФ, 71, 377, 1976; Ю.М.Буньков, Б.С.Думеш. ЖЭТФ, 68, 1161, 1975; W. J. Ince. Phys. Rev., 184, 574, 1969.
- [3] М.П.Петров, В.В.Москалев. ФТТ, 15, 2537, 1973.
- [4] Н. Yasuoka. J. Phys. Soc. Japan, 19, 1182, 1964; А.А.Петров. Автореферат канд. диссертации ФТИ, Л. 1975.
- [5] А.А.Петров, М.П.Петров, В.П.Чекмарев. ФТТ, 17, 2640, 1975; Б.С.Думеш. Автореферат канд. диссертации ИФП, М., 1975.