

ЯДЕРНЫЙ МАГНИТНЫЙ РЕЗОНАНС Fe^{57} В МОНОКРИСТАЛЛАХ $FeVO_3$

В. Д. Дорошев, Н. М. Ковтун, В. Н. Селезнев, В. М. Сирюк

Недавно синтезированное соединение $FeVO_3$ [1, 2] является прозрачным в видимой области света слабым ферромагнетиком с температурой Нееля $T_N = 348^\circ K$. Структура соединения – ромбоэдрическая, магнитная анизотропия – типа "легкая плоскость".

В данной работе приводятся сведения о первом наблюдении ядерного магнитного резонанса (ЯМР) в сверхтонких полях монокристаллов $FeVO_3$ на ядрах Fe^{57} . Кристаллы при синтезе изотопом Fe^{57} искусственно не обогащались.

Образец представлял собой большое количество произвольно ориентированных монокристаллических пластинок, выращенных методом спонтанной кристаллизации из раствора в расплаве [3]. Сигналы ЯМР регистрировались методом спинового эха и свободной прецессии в диапазоне температур $4,2 + 300^\circ K$. Измеренные значения коэффициента усиления ЯМР η и времен релаксации T_1 , T_2 и T_2^* приведены в таблице.

T, °K	Резонансная частота ν_0 , МГц	Поле на ядрах H_n , кэ	Коэффициент усиления ЯМР, η	Времена релаксации			Ширина резонансной линии	
				T_1 , мсек	T_2 , мсек	T_2^* , мксек	$\Delta\nu = \frac{1}{2\pi T_2^*}$, кГц	ΔH , э
77,0	75,48	549	$0,12 \cdot 10^6$	3,3	1,2	67	2,4	17,5
63,0	75,93	551	$0,22 \cdot 10^6$	–	–	–	–	–
4,2	76,45	555	$0,25 \cdot 10^5$	10	2,9	68	2,3	17,0

Существенной обнаруженной особенностью ЯМР в $FeVO_3$ является аномально большое значение коэффициента усиления ЯМР, достигающее при $T = 63^\circ K$ величины $\eta = 0,22 \cdot 10^6$. Средний коэффициент усиления измерялся методом свободной прецессии и спинового эха в предположении, что сигналы достигают максимума на резонансной частоте, если $\gamma_n H_x \eta \tau = \pi/2$ и $\gamma_n H_x \eta \tau = 2\pi/3$, соответственно. Здесь γ_n – гиромагнитное отношение, H_x – вращающаяся компонента возбуждающего импульса, τ – длительность этого импульса. Столь большие значения η могут быть объяснены следующим образом. Коэффициент усиления, связанный с вращением намагниченности в домене в нулевом внешнем поле $\eta_{вр} \sim H_n / H_A$, где H_n – сверхтонкое поле, H_A – поле анизотропии. В плоскости (111) исследуемого кристалла поле анизотропии настолько мало, что экспериментально была определена только его верхняя граница $H_A < 1 \text{ э}$ при $200^\circ K$ [3, 4]. Поэтому можно ожидать, что $\eta_{вр}$ будет иметь большое значение. Еще большее значение имеет

обычно коэффициент $\eta_{\text{СМ}}$, связанный со смещением доменных границ, хотя для слабого ферромагнетика $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ он может быть одного порядка с $\eta_{\text{ВР}}$ [5].

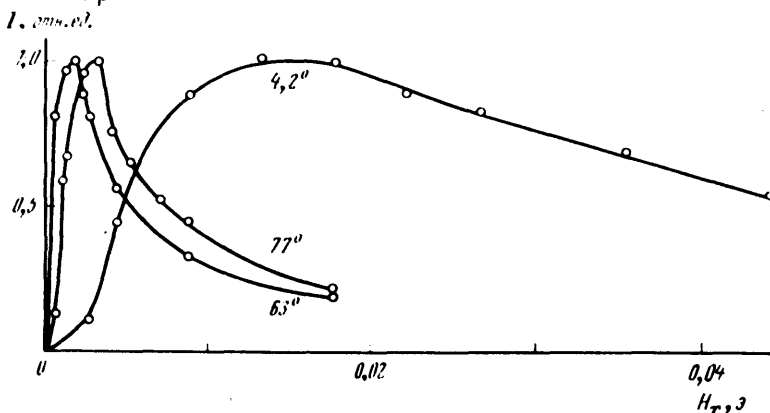


Рис. 1. Зависимость относительной амплитуды сигнала свободной прецессии на резонансной частоте от величины вращающейся компоненты возбуждающего импульса. $\tau = 4,6 \text{ мксек}$

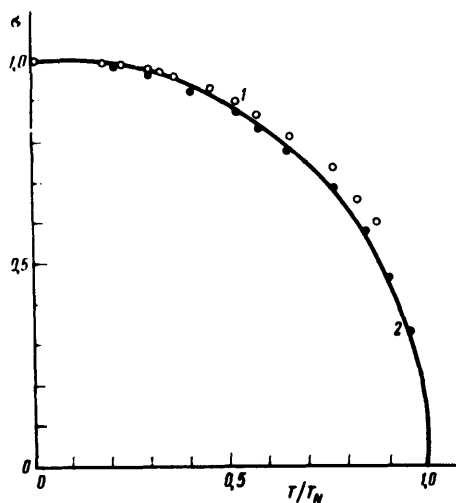


Рис. 2. Температурная зависимость относительной намагниченности подрешеток $\sigma = M(T)/M(0)$: 1 — нейтронографические измерения [7], 2 — результаты измерений ЯМР. Сплошная кривая — функция Бриллюэна для $S = 5/2$

Характерный вид зависимости интенсивности сигнала свободной прецессии от величины H_x (рис. 1) позволяет сделать вывод, что преобладают процессы смещения границ и, следовательно, сигналы происходят от ядер в доменных границах. Если бы сигналы происходили от ядер в доменах, для которых $\eta_{\text{ВР}} = \text{const}$, то усреднение, связанное с произвольной ориентацией кристаллов по отношению к направлению H_x , привело бы к осциллирующему затухающему характеру этой зависимости. Монотонное убывание интенсивности после достижения максимума характерно для дополнительного усреднения, вызванного неоднородностью η в доменной границе [6]. По-видимому, еще большее значение η может быть зарегистрировано в сорентированном образце. Причина уменьшения η при $T = 4,2^\circ\text{K}$ не выяснена.

Времена релаксации измерены при оптимальной амплитуде возбуждающих импульсов. Заслуживает внимание тот факт, что при $T = 4,2^\circ\text{K}$

и $T = 77^\circ\text{K}$ ширина линии поглощения ΔH , оцененная по величине T_2^* , не превышает 20 \AA .

Температурная зависимость относительной намагниченности подрешеток $\sigma = M(T)/M(0)$, которая отождествлена с $H_n(T)/H_n(4,2^\circ\text{K})$, приведена на рис. 2. Температура Нееля ($348,1 \pm 0,2^\circ\text{K}$) измерялась методом ядерного γ -резонанса (ЯГР). На этом же рисунке приведены данные нейтронографических измерений на FeVO_3 , заимствованные из работы [7]. Значение сверхтонкого поля, измеренное методом ЯГР [8], $H_n(4,2^\circ\text{K}) = 561 \text{ кэ}$ отличается на 1,1% от величины, измеренной нами. Это расхождение не может быть объяснено ошибкой измерения частоты ЯМР ($\Delta\nu/\nu \approx 0,1\%$) и имеет другое происхождение. К сожалению, авторы работы [8] не указывают ошибку измерения H_n в своих экспериментах. При $T = 300^\circ\text{K}$ расхождение с расчетной кривой составляет 7%.

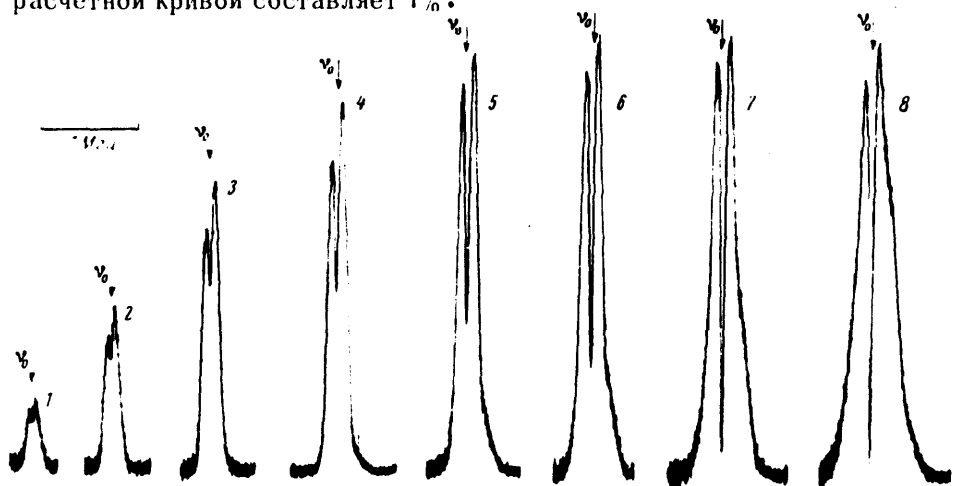


Рис. 3. Интегральная интенсивность эхо-сигнала в функции частоты заполнения возбуждающих импульсов $\tau_1 = \tau_2 = 4,6 \text{ мксек}$, $T = 77^\circ\text{K}$, H_n , э:
 1 - 0,0018; 2 - 0,0027; 3 - 0,0044; 4 - 0,0062; 5 - 0,0089; 6 - 0,013;
 7 - 0,018; 8 - 0,026

Поскольку ионы Fe^{3+} занимают кристаллографически эквивалентные положения, то, как и ожидалось, наблюдалась одиночная линия ЯМР. Сложный вид спектра (рис. 3) при большой величине действующего на ядро высокочастотного поля ηH_x при условии $\Delta H \ll \eta H_x$ связан со спецификой импульсной методики и подробно анализируется в работе [6].

Окончательно вопрос о соотношении между $\eta_{\text{вр}}$ и $\eta_{\text{см}}$ для соединения FeVO_3 может быть решен при исследовании ЯМР во внешнем магнитном поле.

Авторы выражают благодарность С.Ф.Иванову за помощь в измерениях ЯМР и М.И.Петрову за измерение температуры Нееля.

Физико-технический институт
 Академии наук Украинской ССР

Институт физики
 им. Л.В.Киренского
 Академии наук СССР
 Сибирское отделение

Поступила в редакцию
 4 мая 1971г.

Литература

- [1] I.Bernal, C.W.Struck, J.G.White . Acta Cryst., 16, 849, 1963
 - [2] J.C.Joubert, T.Shirk, W.B.White, R.Roy. Mater. Res. Bull., 3, 671, 1968. †
 - [3] R.C.LeCraw, R.Wolfe, J.W.Nielsen . Appl. Phys. Lett., 14, 352, 1969.
 - [4] R.Wolfe, A.J.Kurtzig, R.C.LeCraw. J. Appl. Phys., 41, 1218, 1970.
 - [5] А.В.Залесский , И.С.Желудев, Р.А.Восканян. ЖЭТФ, 59, 673, 1970.
 - [6] Mary B.Stearn. Phys. Rev., 162, 496, 1967 .
 - [7] M.Pernet, D.Elmaleh, J.C.Joubert. Solid State Commun ., 8, 1583, 1970. †
 - [8] M.Eibschütz, L.Pfeiffer, J.W.Nielsen. J. Appl. Phys., 41, 1276, 1970.
-