

НАБЛЮДЕНИЕ АКУСТОМАГНИТНОГО РЕЗОНАНСА В ДИФРАКЦИИ НЕЙТРОНОВ

В.В.Квардаков, В.А.Соменков

Обнаружено влияние резонансных упругих колебаний на интенсивность магнитного рассеяния нейтронов кристаллом FeVO_3 связанное с возбуждением колебаний магнитных моментов. Измерена амплитуда магнитных колебаний и ее зависимость от величины магнитного поля и амплитуды звука.

Слабые ферромагнетики с анизотропией типа "легкая плоскость" характеризуются сильным магнитоупругим взаимодействием, при наличии которого возбуждение колебаний в одной из подсистем (упругой или магнитной) должно приводить к колебаниям другой ^{1,2}.

В ^{3,4} нами было обнаружено проявление магнитоакустических резонансных эффектов в дифракции нейтронов и рентгеновских лучей на совершенных кристаллах слабых ферромагнетиков: интенсивность рефлексов увеличивалась при действии на кристалл переменного магнитного поля, что обусловлено появлением упругих искажений, под воздействием которых совершенный кристалл рассеивал как мозаичный. Можно ожидать, что при возбуждении в кристалле звуковых колебаний из-за наличия магнитоупругой связи в нем будут возникать колебания магнитных моментов, которые можно зафиксировать напрямую по изменению интенсивности упругого магнитного рассеяния нейтронов. Однако, наблюдение таких акустомагнитных эффектов возможно лишь в том случае, если интенсивность рассеяния не зависит от мозаичности вносимой упругими колебаниями. Это, например, имеет место при дифракции в кинематическом пределе: в тонких по

сравнению с длиной экстинкции кристаллах. Интенсивность магнитного рассеяния нейтронов для тонкого кристалла пропорциональна квадрату синуса угла между вектором рассеяния и вектором антиферромагнетизма ⁵ и для легкоплоскостного образца может быть представлена в виде:

$$I(\varphi) \sim (1 - (\sin(\varphi) \cdot \cos(\Delta))^2), \quad (1)$$

где φ - угол, определяющий ориентацию вектора антиферромагнетизма в "легкой плоскости", Δ - угол между нормалью к отражающей плоскости и "легкой плоскостью". В отсутствие колебаний ориентация магнитных моментов задается направлением (которое будем характеризовать углом φ_0) насыщающего магнитного поля, приложенного в "легкой плоскости": слабоферромагнитный вектор ориентируется параллельно, а антиферромагнитный - перпендикулярно направлению поля.

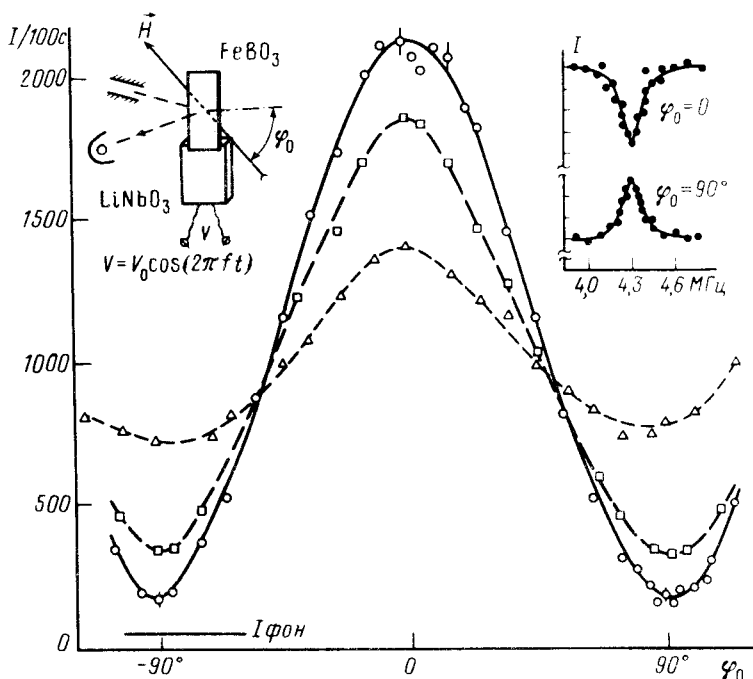


Рис. 1. Зависимость интенсивности магнитного рассеяния нейтронов от ориентации внешнего магнитного поля при напряжении на пьезопреобразователе 0 - (о), 2,5 В - (□), 7 В - (Δ). Сплошная линия - результат расчетов по формуле (1). На вставках - схема эксперимента и зависимость интенсивности рассеяния от частоты сигнала на пьезопреобразователе.

Если антиферромагнитный вектор начинает совершать угловые колебания с амплитудой φ^* , то усредненная по времени t интенсивность магнитного рассеяния должна измениться и в случае гармонических колебаний может быть записана в виде:

$$I^*(\varphi_0, \varphi^*) \sim \int_0^{2\pi} I(\varphi_0 + \varphi^* \sin(t)) dt. \quad (2)$$

Таким образом, по интенсивности магнитного рассеяния нейтронов можно судить о наличии или отсутствии колебаний вектора антиферромагнетизма, и о величине амплитуды φ^* . Эксперименты проводили на дифрактометре МОНД, установленном на реакторе ИР-8 в ИАЭ им.И.В.Курчатова. Пучок нейтронов с $\lambda = 1,2 \text{ \AA}$ монохроматизировали с помощью двойного монохроматора ⁶ с кристаллами пиролитического графита (отражение (002)). Образец представлял собою

пластинку FeVO_3 , размером $6 \times 2 \text{ мм}^2$, плоскость которой совпадала с плоскостью легкого намагничивания, поле насыщения составляло ≈ 10 Э. Толщина образца $t_0 \approx 40 \text{ мкм}$ составляла $0,25$ (при $\varphi_0 = 0$) и $0,06$ (при $\varphi_0 = 90^\circ$) от длины экстинкции. К краю кристалла приклеивали ультразвуковой преобразователь из LiNbO_3 с резонансной частотой $f_0 \approx 4,3$ МГц. Исследовали интенсивность магнитного рассеяния нейтронов (рефлекс (100) с $\Delta = 15,5^\circ$), как функцию φ_0 , частоты f , напряжения V_0 на преобразователе и напряженности магнитного поля H .

Зависимость $I^*(\varphi_0)$ в отсутствие звука описывается формулой (1) в пределах статистических ошибок (рис.1). При увеличении V_0 кривая $I^*(\varphi_0)$ "сглаживается": интенсивность рассеяния при $\varphi \approx 0$ уменьшается, а при $\varphi \approx \pm 90^\circ$ - увеличивается, как это следует из формулы (2) при возрастании амплитуды φ^* . При этом на частотной зависимости интенсивности рассеяния возникает пик при $\varphi_0 = 90^\circ$ и провал при $\varphi_0 = 0^\circ$, что указывает на резонансный характер наблюдаемого эффекта. Форма резонансной кривой в первом приближении симметрична относительно резонансной частоты f_0 преобразователя. По соотношению интенсивностей рассеяния возбужденного и невозбужденного кристаллов была определена амплитуда магнитных колебаний и установлено, что она пропорциональна V_0 и убывает при увеличении N (рис.2).

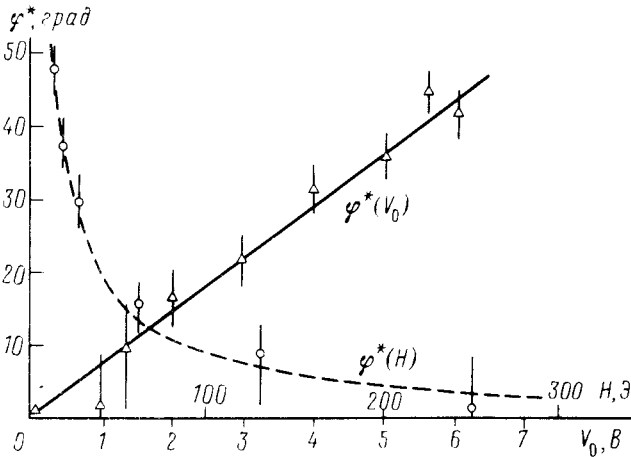


Рис. 2. Зависимости амплитуды колебаний магнитных моментов от напряженности магнитного поля (при $V = 6$ В) и напряжения на пьезопреобразователе (при $H = 10$ Э). Штриховая линия - расчет по формуле (3) при $2H_e H_{ms} / H_d = 8,7$ Э².

Максимальное значение φ^* составляет величину порядка 1 рад. В контрольном эксперименте кристалл был отклеен от пьезопреобразователя и отнесен от него на расстояние ≈ 1 мм. В этом случае влияние ультразвука на рассеяние отсутствовало.

Амплитуду магнитных колебаний в линейном приближении можно выразить через тензор упругих деформаций \hat{u} ¹:

$$\varphi^* = \frac{2H_e}{M} \frac{\hat{B}\hat{u}}{(H(H + H_d) + 2H_e H_{ms})} \quad (3)$$

где M - намагниченность подрешеток; N_e , N_d , N_{ms} - эффективные поля междо-решеточного обмена Дзялошинского, спонтанной стрикции; \hat{B} - магнитоупругий тензор. Теоретическая зависимость $\varphi^*(H)$, при расчете которой использовали

значения констант FeVO_3 из ⁷ согласуется с экспериментальными данными (рис.2). Принимая, что $\hat{B} = B \simeq 5 \cdot 10^6$ эрг/см⁷, можно определить и величину упругих деформаций, которая при $V \simeq 5$ В составляет величину $u \simeq 10^{-5}$, которая близка к константе магнитоупругости слабых ферромагнетиков ⁸.

Таким образом, возбуждение резонансных упругих колебаний в кристалле FeVO_3 с сильной магнитоупругой связью приводит к изменению средней по времени интенсивности магнитного рассеяния нейтронов, что естественно связать с появлением высокочастотных резонансных колебаний магнитных моментов и соответствующим изменением амплитуды рассеяния. Совокупность данных (симметричная форма частотной характеристики, линейная связь амплитуды магнитных и звуковых колебаний, отсутствие порога) показывает, что несмотря на большую величину амплитуды магнитных колебаний ($\simeq 1$ рад) акустомагнитный резонанс при использованных в работе амплитудах ультразвуковых волн является линейным эффектом в отличие от нелинейного магнитоакустического резонанса ³.

Возможность прямого одновременного изучения упругих и магнитных возбуждений и взаимодействия между ними делает рассеяние нейтронов перспективным методом исследования в области линейной и нелинейной магнитоакустики.

Авторы благодарят С.Ш.Шильштейна и И.Р.Энтина за полезные обсуждения и ценные замечания.

Литература

1. Ожогин В.И., Преображенский В.Л. УФН, 1988, 155, 593.
2. Евтихийев Н.Н., Мошкин В.В., Преображенский В.Л., Экономов Н.А. Письма в ЖЭТФ, 1982, 35, 31.
3. Квардаков В.В., Соменков В.А., Тюгин А.Б. Письма в ЖЭТФ, 1988, 48, 396.
4. Квардаков В.В., Соменков В.А. ФТТ, 1989, 31, 235.
5. Изюмов Ю.А., Озеров Р.П. Магнитная нейтронография. М.: Наука, 1966.
6. Энтин И.Р., Глазков В.П., Моряков В.П. и др. , ПТЭ 1976, 56.
7. Seavey M.H. Solid.Stat.Comm., 1972, 10, 219.
8. Восканян Р.А., Левитин Р.З., Шуруп В.А. ЖЭТФ, 1968, 54, 790.