

МАГНИТОАКУСТИЧЕСКИЕ РЕЗОНАНСНЫЕ ЯВЛЕНИЯ В РАССЕЯНИИ НЕЙТРОНОВ

В.В.Квардаков, В.А.Соменков, А.Б.Тюгин

Обнаружена зависимость интенсивности ядерного и магнитного рассеяния нейтронов совершенным слабоферромагнитным кристаллом FeVO_3 от частоты перемещающего поля, имеющая вид резонансных пиков, обусловленных возбуждением магнитоупругих колебаний.

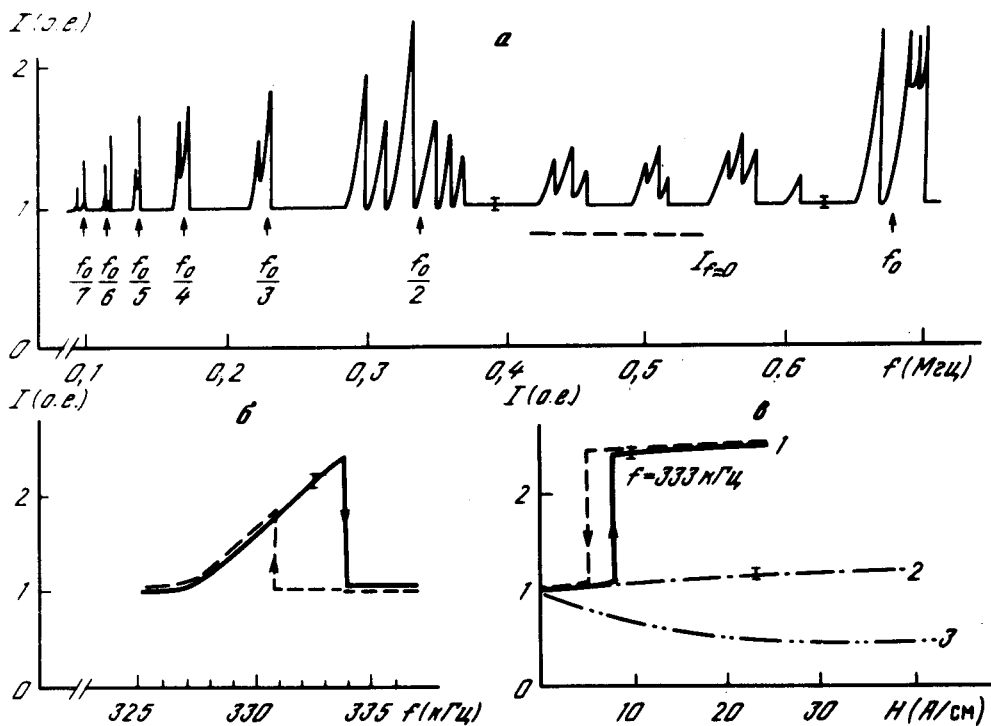
Известно, что при взаимодействии излучения с совершенными кристаллами, в которых возбуждаются упругие колебания, могут возникать нетривиальные резонансные явления такие, как рентгеноакустический резонанс ¹, когда длина звуковой волны совпадает с длиной экстинкции, или резонансные эффекты, связанные с возбуждением собственных колебаний кристалла и обусловленные локальным нарушением совершенства ².

Недавно было установлено, что тонкие кристаллы слабых ферромагнетиков FeVO_3 и $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ могут быть достаточно совершенными для наблюдения свойственных совершенным кристаллам динамических эффектов как в ядерном, так и в магнитном рассеянии нейтронов ³. Для этих кристаллов характерны связанные магнитоакустические колебания, возникающие при их перемещении ⁴ (совершенные кристаллы бората железа способны перемещаться с частотами до 1 ГГц в магнитных полях порядка нескольких эрстэд ⁵), причем такие колебания могут быть нелинейными, так как нелинейность, вносимая магнитной подсистемой в упругую в этих кристаллах очень велика ⁶. В связи с этим, цель данной работы заключалась в том, чтобы выяснить, какое влияние оказывает высокочастотное перемещение на магнитное и ядерное рассеяние нейтронов совершенным кристаллом FeVO_3 .

Нейтронные эксперименты проводили на монокристалльном дифрактометре МОНД, установленном на реакторе ИР-8 ИАЭ им. И.В.Курчатова с использованием пучка нейтронов с $\lambda = 2,4 \text{ \AA}$, $\Delta\lambda/\lambda = 1,5\%$ монохроматизированного отражением от двух кристаллов пиролитического графита. В экспериментах использовали кристалл FeVO_3 высокой степени совершенства, представляющий собой пластинку неправильной формы с поперечными размерами $\sim 4 \times 7 \text{ мм}^2$ и толщиной $\sim 70 \text{ мкм}$ и менее совершенный кристалл FeVO_3 ($\sim 30''$) в форме пластинки $\sim 8 \times 10 \text{ мм}^2$ и толщиной $\sim 120 \text{ мкм}$. В обоих случаях плоскость пластин совпадала с плоскостью легкого намагничивания. 180° -перемещение осуществляли в диапазоне частот $0,1 \div 1 \text{ МГц}$ с помощью гармонически меняющегося магнитного поля, создаваемого в медной катушке, в которую помещали образец. Напряженность магнитного поля вычислялась по силе тока, протекающего через катушку, и могла достигать величины $\sim 50 \text{ А/см}$.

Как видно из рисунка при воздействии на совершенный кристалл FeVO_3 переменного магнитного поля достаточной амплитуды на частотной зависимости интенсивности ядерного (222) отражения нейтронов возникают несколько групп резонансных пиков, одна из которых расположена в районе частоты $f_0 \sim 680 \text{ кГц}$, а другие – в районах частот ей кратных. Для каждого из резонансных пиков после быстрого ($\sim 30 \text{ мкс}$) выключения питающего напряжения с помощью катушки в кристалле были зарегистрированы магнитные колебания с частотами порядка f_0 затухающие за времена до 400 мкс. Помимо сильных пиков на частотных зависимостях наблюдаются также и более слабые резонансы, соответствующие гармоникам от других более высоких по сравнению с f_0 частот. Установлено, что величины резонансных пиков уменьшаются при более "жестком" креплении кристалла, а при его нагреве до температур выше температуры Нееля ($T_N = 348 \text{ К}$) или при дополнительном намагничивании постоянным полем, превышающим в несколько раз напряженность переменного

магнитного поля, интенсивность рассеяния перестает зависеть от частоты. Изменение крепления образца может привести к изменению величины и положения отдельных резонансных пиков, однако среднее положение каждой из групп пиков сохраняется.



a – Зависимость интенсивности (222) отражения нейтронов совершенным кристаллом FeBO_3 от частоты перемещающего поля; *б* – гистерезис; *в* – амплитудная зависимость интенсивности ядерного (222) рассеяния нейтронов совершенным – (1) и мозаичным – (2) кристаллами и магнитного (100) рассеяния мозаичным кристаллом FeBO_3 – (3)

Аналогичные эффекты наблюдались также на других ядерных и магнитных, лауэвских и брэгговских отражениях нейтронов от совершенного кристалла FeBO_3 и отсутствовали в рассеянии нейтронов мозаичным кристаллом FeBO_3 . В последнем случае интенсивность рассеяния не зависела от частоты перемещающего поля напряженностью вплоть до 50 А/см, однако изменялась с изменением амплитуды магнитного поля (рис. *в*).

Величины нейтронных резонансных пиков линейно возрастали при увеличении оптической толщины кристалла, осуществляемой путем его наклона вокруг нормали к отражающей плоскости.

Совокупность перечисленных фактов дает основание считать, что причиной роста интенсивности рассеяния является нарушением совершенства кристалла, вызванное резонансным возбуждением магнитоупругих колебаний. Собственные частоты порядка f_0 характерны для колебаний мембранного типа образцов FeBO_3 с поперечными размерами $\sim 5 \text{ мм}$ ⁷. Специфическая форма всех резонансных пиков – скачкообразное уменьшение интенсивности рассеяния при превышении частоты некоторого порогового значения, пороговый характер появления эффекта при изменении амплитуды магнитного поля (рис. *в*), а также гистерезис в обеих этих зависимостях говорят, по всей видимости, о нелинейном характере возникающих колебаний.

Аналогичные магнитоакустические резонансные явления наблюдались нами в рассеянии (200) рентгеновского излучения Cu K_α в совершенном кристалле FeBO_3 , их следует ожидать также и при использовании других видов излучений (мессбауэровского, синхротронного и т. д.).

Можно надеяться, что эксперименты по нейтронной и рентгеновской магнитоакустике, подобные описанным, позволят получить более детальную информацию по сравнению с существующими методами о колебаниях ядерной и спиновой подсистем кристалла (в частности определить амплитуды колебаний по интенсивности резонансных пиков) и откроют новые возможности применения дифракционных методов.

Авторы признательны Смирнову Г.В., Швыдько Ю.В., Зелепухину М.В. за предоставление кристаллов, Шильштейну С.Ш., Кону В.Г., Энтину И.Р. за полезные обсуждения и ценные замечания.

Литература

1. Энтин И.Р. Письма в ЖЭТФ, 1977, 26, 392.
2. Parkinson T.F., Gürmen E., Loyalka S.K., Muhlestein L.D. J. of Appl. Phys., 1974, 45, 2021.
3. Квардаков В.В., Зелепухин М.В., Соменков В.А., Шильштейн С.Ш. Вопр. атом. науки и тех. Сер. общ. и ядер. физ., 1988, вып. 2 (42).
4. Seavey M.H., Sol. St. Comm., 1972, 10, 219.
5. Kolotov O.S., Pogozhev V.A., Teleshin R.V. et al. Phys. St. Sol. (a), 1982, 72, K197.
6. Ожогин В.И.; Преображенский В.Л., ЖЭТФ, 1977, 73, 988.
7. Колотов О.С., Погожев А.А., Смирнов Г.В., Швыдько Ю.В. ФТТ, 1987, 29, 2548.

Институт атомной энергии
им. И.В.Курчатова

Поступила в редакцию
20 августа 1988 г.