

УДК 539.27  
© 1991

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗБУЖДЕНИЯ И ЗАТУХАНИЯ МАГНИТОУПРУГИХ КОЛЕБАНИЙ В КРИСТАЛЛЕ $\text{FeVO}_3$ С ПОМОЩЬЮ ДИФРАКЦИИ НЕЙТРОНОВ

*В. В. Квардаков, В. А. Соменков*

Путем сочетания магнитных измерений и исследования зависимости интенсивности рассеяния от времени изучены релаксационные процессы при возбуждении и затухании собственных магнитоупругих колебаний в совершенном кристалле  $\text{FeVO}_3$ . Обнаружено, что переходные процессы при возбуждении и затухании колебаний в  $\text{FeVO}_3$  различаются: они определяются разными временами релаксации и по-разному зависят от частоты колебаний и напряженности поля. В общем случае амплитуды колебаний при переходных процессах модулированы во времени. При возбуждении колебаний это обусловлено различием между резонансной частотой и частотой внешней возбуждающей силы, при затухании — взаимодействием магнитных и упругих возбуждений. В рассеянии нейтронов обнаружено проявление нелинейности магнитоупругих колебаний.

Кристаллы слабых ферромагнетиков с анизотропией типа «легкая плоскость» характеризуются сильным взаимодействием между упругой и магнитной подсистемами и нелинейностью магнитоупругих колебаний, которые могут быть резонансно возбуждены переменным магнитным полем и зарегистрированы по изменению намагниченности образца [1, 2]. Недавно было обнаружено, что при этом увеличивается интенсивность рассеяния нейтронов и рентгеновских лучей совершенными кристаллами  $\text{FeVO}_3$  и  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  [3, 4], что связано с нарушением кристаллического совершенства образцов под действием магнитоупругих колебаний. Дифракционное исследование нелинейных магнитоупругих колебаний в  $\text{FeVO}_3$  показало, что они характеризуются сильным эффективным ангармонизмом, обуславливающим появление далеких субгармоник  $\omega/n$  вплоть до  $n=15$  [5]. Для описания подобных нелинейных систем необходимо знать их диссипативные характеристики, которые можно определить, в частности, по возбуждению и затуханию магнитоупругих колебаний.

В связи с этим цель данной работы заключалась в том, чтобы, используя сочетание нейтронных и магнитных измерений, изучить релаксационные процессы, возникающие при возбуждении и затухании собственных колебаний кристалла  $\text{FeVO}_3$ .

В эксперименте использовали кристалл бората железа в форме пластинки с поперечными размерами  $\approx 4 \times 7$  мм и толщиной  $\approx 70$  мкм. Кристалл имел высокое кристаллическое совершенство, достаточное для наблюдения «Pendellösung» эффекта в ядерном и магнитном рассеянии нейтронов [6]. Магнитную подсистему кристалла возбуждали переменным магнитным полем, параллельным плоскости образца, совпадающей с «легкой плоскостью» (111). Для устранения доменной структуры перпендикулярно переменному полю прикладывали постоянное подмагничивающее поле  $\mathbf{H}$  величиной от 10 до 100 Э. Возбуждающее поле модулировали по амплитуде прямоугольными импульсами с длительностью  $\approx 1275$  мкс, периодом повторения  $\approx 2500$  мкс, временем переднего и заднего фронтов  $\approx 20$  мкс. Изменения магнитного момента кристалла

регистрировали по сигналам магнитной индукции, наводимым в измерительной катушке. Нейтронные эксперименты проводили на дифрактометре МОНД, установленном на исследовательском реакторе ИР-8 в ИАЭ им. И. В. Курчатова. Исследовали зависимость интенсивности ядерного рассеяния нейтронов (211) от времени с помощью многоканального временного анализатора, развертка которого была синхронизована с импульсами, модулирующими поле. Временное разрешение установки составляло  $\approx 15$  мкс при  $\lambda = 2.4$  Å.

Эксперименты показали, что если частота возбуждающего поля далека от резонансной, интенсивность рассеяния не зависит от времени и отсутствуют изменения намагниченности образца после окончания внешнего воздействия. При частоте  $f$ , лежащей вблизи какой-либо резонансной частоты кристалла  $f_0$ , интенсивность рассеяния с момента начала действия возбуждающего поля до момента затухания сигнала магнитной индукции превышает исходную. Из результатов экспериментов при  $f = f_0 \approx 0.7$  МГц ( $H \approx 100$  Э) видно (рис. 1), что зависимости интенсивности рассеяния от

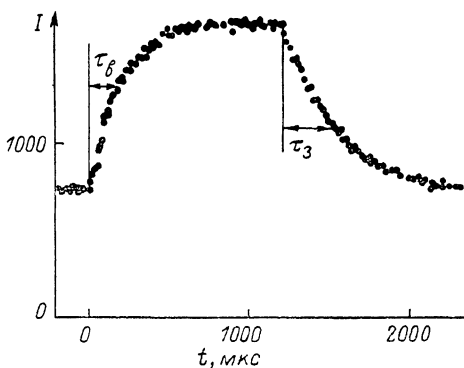


Рис. 1. Зависимость интенсивности рассеяния от времени при возбуждении кристалла  $\text{FeVO}_3$  переменным магнитным полем, модулированным прямоугольными импульсами.

времени при установлении и затухании колебаний описываются экспоненциальными функциями, которые характеризуются разными временами релаксации:  $\tau_b \approx 180$  мкс (возбуждение) и  $\tau_z \approx 320$  мкс (затухание).

При отходе от резонансной частоты изменение интенсивности рассеяния приобретает немонотонный осциллирующий характер, а частоты модуляций при установлении и затухании в общем случае не совпадают. Амплитуда колебаний намагниченности при этом также модулирована (рис. 2).

При установлении колебаний частота модуляций описывается функцией  $F(f) = |f - f_0|$  (рис. 3). Время затухания модуляций почти на порядок превосходит  $\tau_b$ , однако усредненное по модуляциям значение интенсивности достигает насыщения за время, меньшее, чем  $\tau_b$ , и приблизительно равное периоду модуляций. При уменьшении поля  $H$  зависимость  $F(f)$  сдвигается в сторону меньших частот  $f$ , что указывает на изменение резонансной частоты, и на этой зависимости появляется «разрыв»: при некоторой частоте, зависящей от  $H$ , величина  $F$  изменяется скачком (рис. 3).

При затухании свободных колебаний частоты модуляций интенсивности рассеяния и сигнала магнитной индукции совпадают, однако фазы отличаются на  $\pi/4$ : максимальной амплитуде упругих колебаний соответствует минимальная амплитуда магнитных, и наоборот (рис. 2). При изменении  $f$  в небольших пределах частота модуляций практически не изменяется, а затем, при дальнейшем изменении  $f$ , появляются модуляции с новой частотой. Время затухания свободных колебаний уменьшается примерно в два раза при уменьшении  $H$  от 100 до 10 Э, что соответствует изменению добротности системы.

Модуляции амплитуд свободных колебаний характерны для случая колебаний нескольких взаимодействующих между собой систем, простейшей механической моделью которых являются два маятника, связанные упругой связью. Как известно [7], амплитуды колебаний таких маятников модулированы во времени гармоническими функциями с фазами, отличающимися на  $\pi/4$ . Константа связи таких подсистем может быть определена по частоте модуляций  $\xi = \Omega/f$  и в нашем случае составляет  $\approx 0.4\%$ , что на порядок меньше типичных значений констант магнитоупругой связи в  $\text{FeVO}_3$  [8].

При возбуждении колебаний причиной модуляций могут быть биения между затухающими собственными колебаниями системы на частоте  $f_0$

и вынужденными на частоте внешнего воздействия  $f$ . Эти биения можно описать математически в рамках модели линейного осциллятора с затуханием с учетом начальных условий. Частота биений как раз должна быть равна  $|f - f_0|$ . Однако изменение декремента затухания при действии возбуждающей силы по сравнению со свободными колебаниями не находит

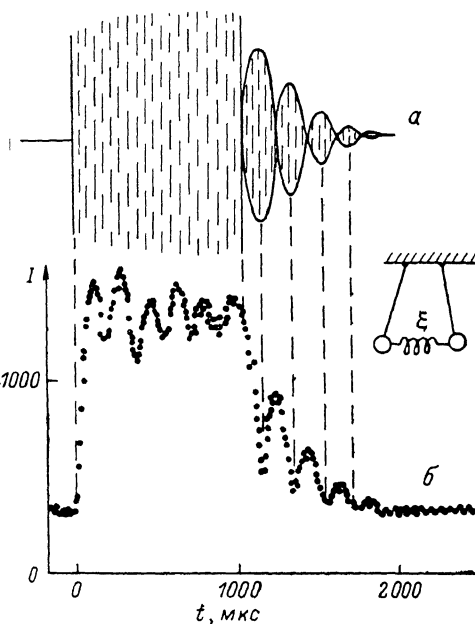


Рис. 2. Осциллограмма сигнала магнитной индукции (а) и зависимость интенсивности рассеяния от времени (б).

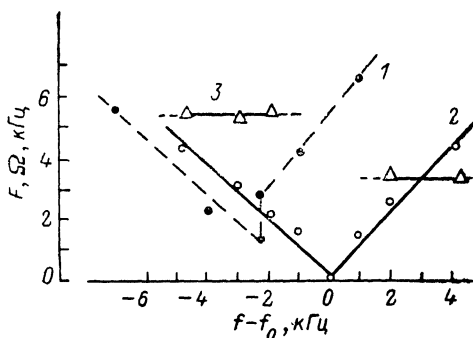


Рис. 3. Зависимость частоты модуляций интенсивности рассеяния для свободных  $F$  (1, 2) и вынужденных  $\Omega$  (3) колебаний от разности между частотой возбуждающего поля и собственной частотой кристалла.  $H=25$  (1) и 100 Э (2, 3).

объяснения в этой модели и связано, по всей видимости, с нелинейностью. С этой же причиной могут быть связаны различие времен релаксации  $\tau_1$  и  $\tau_2$  при  $f=f_0$ , а также нарушение непрерывности функции  $F(f)$  в слабых магнитных полях, поскольку в этих полях наблюдаются характерные для нелинейных колебаний «скачки» в амплитудной и частотной зависимостях интенсивности рассеяния [3, 4]. При увеличении поля  $H$  нелинейность колебаний уменьшается, поэтому эти скачки «исчезают». Это приводит также к возрастанию добротности.

Таким образом, переходные процессы при возбуждении и затухании колебаний в  $\text{FeVO}_3$  различаются: они определяются разными временами релаксации и по-разному зависят от частоты колебаний и напряженности поля. В общем случае амплитуды колебаний при переходных процессах модулированы во времени. При возбуждении колебаний это обусловлено различием между резонансной частотой и частотой внешней возбуждающей силы, при затухании — взаимодействием магнитных и упругих возбуждений. Сочетание нейтрондифракционного и магнитного методов позволяет определить константу этого взаимодействия и фазовый сдвиг между упругими колебаниями и колебаниями магнитного момента.

Авторы благодарят С. Ш. Шильштейна, М. Г. Землянова за ценные замечания, П. П. Паршина, А. В. Смирнова за помощь в проведении экспериментов.

#### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Ожогин В. И., Преображенский В. Л. // УФН. Т. 155. В. 4. С. 593—620.
- [2] Seavy M. H. // Solid State Comm. 1972. V. 10. N 2. P. 219—223.
- [3] Квардаков В. В., Соменков В. А., Тюгин А. Б. // Письма в ЖЭТФ. 1988. Т. 48. № 7. С. 396—398.
- [4] Квардаков В. В., Соменков В. А. // ФТТ. 1989. Т. 31. № 4. С. 235—237.
- [5] Kvardakov V. V., Somenkov V. A. // Abstracts of the 10th General Conference of the condensed matter division of the E. P. S. Lisbon, 1990. P. 159.
- [6] Зелепухин М. В., Квардаков В. В., Соменков В. А., Шильштейн С. Ш. // ЖЭТФ. 1989. Т. 95. № 4. С. 1530—1536.
- [7] Мигулин В. В., Медведев В. И., Мустель Е. Р., Парыгин В. Н. Основы теории колебаний. М.: Наука, 1988.
- [8] Diehl R., Jantz W., Nöläng B. I., Wettling W. // Current Topics in Materials Science. V. 11. Amsterdam, 1984. P. 241—387.

Институт атомной энергии  
им. И. В. Курчатова  
Москва

Поступило в Редакцию  
30 июля 1990 г.