

# ЗАТУХАНИЕ СИГНАЛА МАГНИТОУПРУГОГО ЯМР В $FeVO_3$

А.В. Иванов, В.Р. Корнеев,  
А.П. Паугурт, И.В. Плешаков

В настоящее время в области ЯМР-исследований магнитоупорядоченных кристаллов большой интерес представляет выяснение механизмов взаимного влияния ядерной и акустической подсистем в веществах с большой магнитоупругой связью. Для легкоплоскостного слабого ферромагнетика  $FeVO_3$  были рассмотрены случаи воздействия на ядерную спиновую систему через параметрически [1] и субгармонически возбужденные магнитоупругие колебания [2]. Этот же кристалл изучался и с точки зрения обычного ядерного магнитоакустического резонанса [3]. В работах [4, 5] наблюдались новые эффекты в поведении ядерной спиновой системы в  $FeVO_3$ , которые были объяснены с помощью модели магнитоупругого ЯМР. Модель предполагает, что в веществе с сильной магнитоупругой связью ядерные спины могут поглощать и излучать энергию через промежуточные магнитоупругие колебания, причем на этапе поглощения они возбуждаются переменным магнитным полем с частотой ФМР, а на этапе излучения представляют собой вынужденные колебания, вызванные неоднородной прецессией ядерной намагниченности. Этот тип ЯМР характеризуется своим коэффициентом усиления и динамическим сдвигом частоты. Наиболее сильно эффект магнитоупругого ЯМР должен проявляться в образцах, которые представляют собой акустический резонатор с частотой собственных колебаний, близкой к частоте ЯМР,  $\omega_n$ . Поскольку в  $FeVO_3$  скорость звука зависит от внешнего постоянного поля  $H$ , [6], существует возможность подстройки изготовленного из него резонатора. В [5] отмечено еще одно принципиальное свойство магнитоупругого ЯМР-по мере приближения поля к тому значению, при котором возникает акустический резонанс образца ( $H_{\text{э}}$ ), в силу возрастания радиационного затухания, связанного с переизлучением неоднородных колебаний ядерной намагниченности в звук, ядерная релаксация должна ускоряться. Для времени затухания магнитоупругого ЯМР в [5] получено выражение

$$\tau_m = \frac{2}{\omega_n} \cdot \frac{(H - H_{\text{э}})^2 + \Delta H_{\text{э}}^2}{\tilde{H}_{\text{св}} \Delta H_{\text{э}}}, \quad (1)$$

где  $\Delta H_{\text{э}}$  - ширина акустического резонанса, выраженного в единицах поля,  $\tilde{H}_{\text{св}}$  - обменно-усиленное сверхтонкое поле.

На эксперименте радиочастотный импульс, кроме магнитоупругого ЯМР, возбуждает однородные колебания ядерной намагниченности - обычную ядерную индукцию, частота которой из-за различия динамических сдвигов отличается от частоты неоднородной

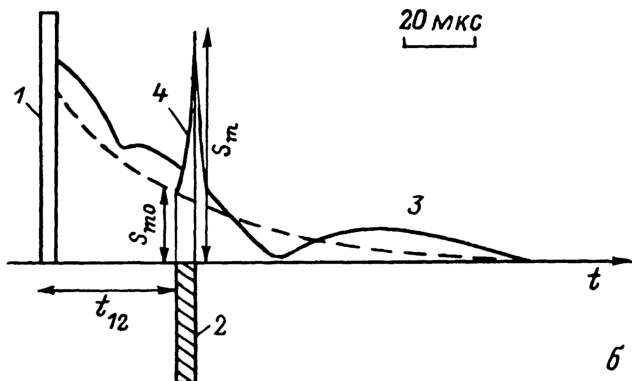
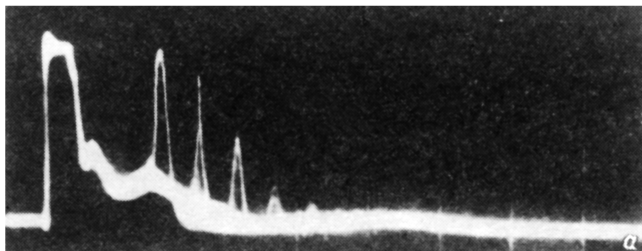


Рис. 1. Осциллограмма процесса параметрического усиления магнитоупругого ЯМР (а) и ее расшифровка (б).  $H = 203 \text{ Э}$ ,  $\Delta T_{\omega} = 4 \text{ мкс}$ ,  $\Delta T_{2\omega} = 6 \text{ мкс}$ . 1 - резонансный импульс, 2 - параметрический импульс, 3 - осциллирующий сигнал индукции (пунктир - собственно магнитоупругий ЯМР), 4 - параметрически усиленный магнитоупругий ЯМР.

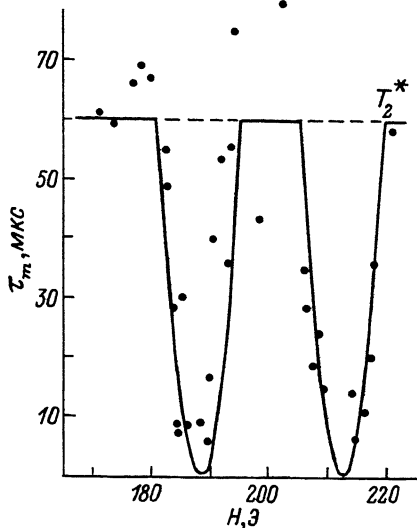
прецессии, а время спада  $T_2^*$  не зависит от поля. После возбуждающего импульса возникает суперпозиция магнитоупругого и обычного ЯМР и в результирующем сигнале индукции наблюдаются биения с периодом и глубиной модуляции, зависящими от  $H$ . Магнитоупругий ЯМР можно выделить из осциллирующего сигнала, используя параметрическое усиление промежуточных колебаний акустической подсистемы. Если постоянное поле модулировать с частотой, удвоенной по отношению к частоте магнитоупругих колебаний образца, последние параметрически усиливаются; максимальное усиление  $K_p$  зависит от скорости изменения частоты акустического резонанса с полем, амплитуды и длительности параметрического импульса. Таким способом можно усиливать и те колебания, которые вызваны движением ядерной намагниченности, т.е. магнитоупругий ЯМР [4, 5]. Если предположить, что сигналы магнитоупругого и обычного ЯМР сравнимы по интенсивности, а  $K_p \gg 1$ , для максимальной амплитуды усиленного магнитоупругого ЯМР  $S_m$  можно получить выражение

Рис. 2. Зависимость времени затухания магнитоупругого ЯМР от поля. Параболы проведены по формуле (1) при  $H_{\text{э}1} = H_{\text{э}2} = 0,6 \text{ Э}$ .  $T_2^*$  - время затухания обычного (однородного ЯМР).

$$S_m = S_{m0} K_p \exp(-t_{12}/T_m), \quad (2)$$

где  $S_{m0}$  - начальная амплитуда магнитоупругого ЯМР,  $t_{12}$  - временной интервал между первым (резонансным) и вторым (параметрическим) импульсами. Эта зависимость была использована для определения  $T_m$ .

Измерения, как и в [4,5], проводились на образце  $FeBO_3$  с размерами  $2 \times 2 \times 0,2 \text{ мм}^3$ . Все поля были приложены в плоскости легкого намагничивания кристалла, при этом поле резонансного импульса перпендикулярно, а параметрического - параллельно  $H$ . Первый импульс имел длительность  $\Delta T_{\omega} = 2 \div 5 \text{ мкс}$  и несущую частоту  $\omega_n/2\pi = 75,4 \text{ МГц}$ , а второй соответственно  $\Delta T_{2\omega} = 2-10 \text{ мкс}$  и  $\omega/2\pi = 150,8 \text{ МГц}$ . Импульсные последовательности поступали с периодом 1 с. На данной частоте возбуждалось два акустических резонанса при  $H_{\text{э}1} = 188 \text{ Э}$  и  $H_{\text{э}2} = 214 \text{ Э}$ . При температуре 77 К (образец находился в жидком азоте, который являлся акустической нагрузкой) в полях  $50 < H < 300 \text{ Э}$  после резонансного импульса регистрировался сигнал индукции ядер  $^{57}Fe$ . В областях, близких к  $H_{\text{э}1,2}$ , наблюдались осцилляции, причем там, где они существовали, можно было усиливать сигнал индукции параметрическим импульсом, подававшимся в различные моменты времени на спаде индукции. Рис. 1 иллюстрирует этот эксперимент. Усиление  $K_p$  зависело от поля. Там, где  $K_p$  достаточно велико и глубина модуляции биений близка к единице (что свидетельствует о приблизительном равенстве амплитуд обычного и магнитоупругого ЯМР), можно пользоваться выражением (2) и по спадам усиленного сигнала от времени, снятым при разных  $H$ , получить зависимость  $T_m(H)$ . Она приведена на рис. 2. Теоретические кривые построены по формуле (1), в которую из работы [5] подставлено  $\dot{H}_{\text{сгв}} = 0,6 \cdot 10^{-2} \text{ Э}$ . Величина  $\Delta H_{\text{э}}$  использована как подгоночный параметр и составляет 0,6 Э. Эффект уменьшения  $T_m$  при  $H \rightarrow H_{\text{э}1,2}$  наблюдается хорошо, однако вследствие большой погрешности измерений есть значительное расхождение в величине  $\Delta H_{\text{э}}$  с данными работы [5], где  $\Delta H_{\text{э}} \approx 2,5 \text{ Э}$ . Малая точность связана с нестабильностью амплитуды



параметрически усиленного сигнала, которая возникает из-за случайного изменения разности фаз между первым и вторым импульсами. Сама погрешность изменяется в зависимости от поля, так как при отходе от резонанса  $K\rho$  падает, уменьшается амплитуда сигнала и нарушается условие использования соотношения (2). Кроме того, на результат измерения  $T_m$  влияют дополнительные моды малой интенсивности, находящиеся вблизи двух основных. Последние также могут воздействовать друг на друга, поскольку усиление магнитоупругого ЯМР за счет одной моды распространяется в область другой [5]. Следовательно, в действительности релаксация происходит по нескольким экспонентам.

Влияние указанных факторов не дает возможности привести в точное соответствие все количественные данные. Из эксперимента видно, что уменьшение времени затухания в области акустических резонансов существует, причем достаточно большое. Положения минимумов практически совпадают с акустическими резонансами. Интересен и сам факт зависимости параметрического усиления от поля. Поэтому приведенные результаты можно рассматривать как дополнительное качественное подтверждение модели магнитоупругого ЯМР.

#### Л и т е р а т у р а

- [1] Петров М.П., Иванов А.В., Корнеев В.Р., Андреева Г.Т. - ЖЭТФ, 1980, т. 78, № 3, с. 1147-1157.
- [2] Иванов А.В., Корнеев В.Р., Паугурт А.П. ФТТ, 1982, т. 24, № 3, с. 883-885.
- [3] Богданова, Х.Г., Багаутдинов Р.А., Голенищев-Кутузов В.А., Еникеева Г.Р., Медведев Л.И. - Письма в ЖЭТФ, 1986, т. 44, № 5, с. 219-221.
- [4] Петров М.П., Паугурт А.П., Плешаков И.В. Иванов А.В. - Письма в ЖТФ, 1987, т. 13, № 4, с. 193-196.
- [5] Петров М.П., Иванов А.В., Паугурт А.П., Плешаков И.В. - ФТТ, 1987, т. 29, № 6, с. 1819-1825.
- [6] Seavay M.H. - Sol. St. Commun., 1972, v. 10, No 2, p. 219-223.

Физико-технический  
институт им. А.Ф. Иоффе  
АН СССР,  
Ленинград

Поступило в Редакцию  
19 августа 1988 г.