

ПАРАМЕТРИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ В ЯДЕРНОМ СПИНОВОМ ЭХО В FeVO_3

М.П.Петров, В.Р.Корнеев

Обнаружено пороговое явление параметрической накачки ядерной спиновой системы, параметрическое эхо и аномальная зависимость интенсивности ядерного эха от внешнего магнитного поля в монокристалле FeVO_3 , обогащенном изотопом Fe^{57} , при 77К.

Известны работы по параметрическому воздействию на ядерную спиновую систему в магнитоупорядоченных кристаллах [1 — 4]. Существенным обстоятельством в этих исследованиях являлось наличие большого динамического сдвига частоты ЯМР (пуллинга), который обусловлен взаимодействием колебаний ядерной и электронной магнитных подсистем. Значение пуллинга в упомянутых работах составляло 1,5 — 80% от резонансной частоты. При интерпретации результатов большая величина пуллинга играла решающую роль.

В настоящей работе параметрические явления в ядерной спиновой системе обнаружены в кристалле FeVO_3 для ядер Fe^{57} при температуре 77К. По оценкам в этих условиях пуллинг составляет менее 10⁻²% от резонансной частоты и экспериментально непосредственно не наблюдался.

FeVO_3 представляет собой слабый ферромагнетик (антиферромагнетик со скошенными подрешетками) с анизотропией типа легкая плоскость. Основные данные по магнитным свойствам и параметрам ЯМР FeVO_3 имеются в [5].

Исследования, представленные в настоящем сообщении, проводились на монокристаллических образцах FeVO_3 как с естественным содержанием изотопа Fe^{57} (2,2%) так и с обогащением изотопом Fe^{57} до 85%.

Образцы имели форму цилиндра диаметром 2 мм и высотой 1 мм. Ось "с" кристаллов совпадала с осью цилиндра. Измерения проводились на установке ядерного спинового эха, в диапазоне 75,4 МГц, при различных значениях внешнего магнитного поля. Эксперимент заключался в том, что на образец подавались не только радиоимпульсы с частотой ЯМР, но также и импульсы накачки на удвоенной частоте $f_H = 150,8$ МГц, и изучалось влияние накачки на сигнал ядерного эха.

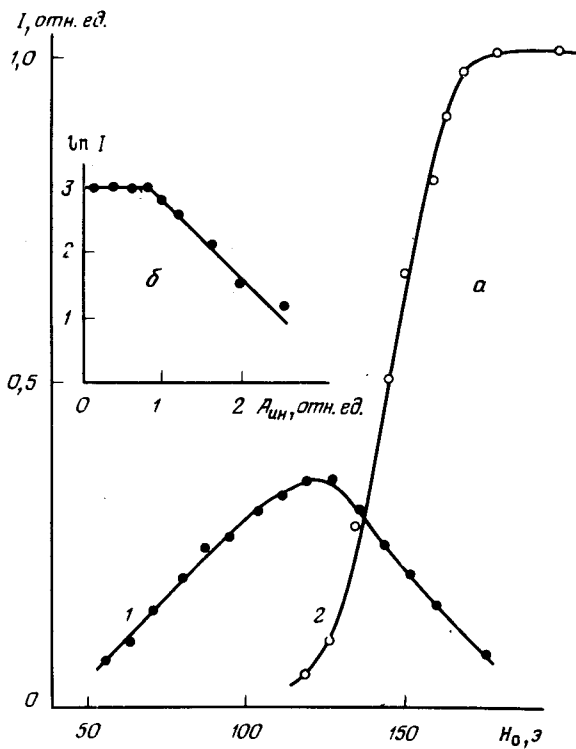


Рис. 1. а — Зависимость интенсивности параметрического эха (1) и обычного эха в присутствии накачки (2) от величины внешнего магнитного поля; б — зависимость натурального логарифма интенсивности эха от амплитуды импульса накачки

На рис. 1, а показаны различные зависимости в поведении сигнала эха в присутствии накачки. Поляризация переменных полей в направлении постоянного поля показаны на вставке к рис. 2. Все поля лежат в "легкой плоскости". Сразу же отметим, что все эффекты, связанные с влиянием накачки, наблюдались только на обогащенном образце. Кроме того требовалось, чтобы расстройка частоты накачки $\delta f_H = \frac{1}{2}f_H - f_0$ не превосходила ширины спектра радиоимпульсов, формирующих сигнал эха ($\sim 50 \div 100$ кГц). Если импульс накачки подается с некоторым упреждением (в пределах $0 \div 10^{-1}$ сек) по отношению к паре радиоимпульсов, формирующих эхо, то наблюдается уменьшение сигнала эха. Это воздействие накачки на сигнал эха наблюдается при достижении некоторого порогового значения интенсивности импульса накачки (рис. 1, б). Абсолютное значение поля накачки определяется с малой точностью, но, по-видимому, значения порогового поля не превосходят $\sim 1 - 3$ э. Время задержки между импульсом накачки и первым импульсом, формирующим эхо, составляет $500 \cdot 10^{-6}$ сек, длительность — $10 \cdot 10^{-6}$ сек.

Кривая 2 (рис. 1, а) показывает зависимость интенсивности эха от внешнего поля для $h_{2f} = 4h_{2f}^{\text{пор}}$ при $H_0 = 120$ э и $\tau_{3H} = 400 \cdot 10^{-6}$ сек.

Кривая 1 показывает зависимость интенсивности так называемого параметрического эха. В этом случае импульс накачки подается вместо второго импульса, формирующего эхо. При этом, если интенсивность накачки превосходит пороговое значение, наблюдается сигнал эха. Замена первого импульса импульсом накачки не приводит к появлению эха.

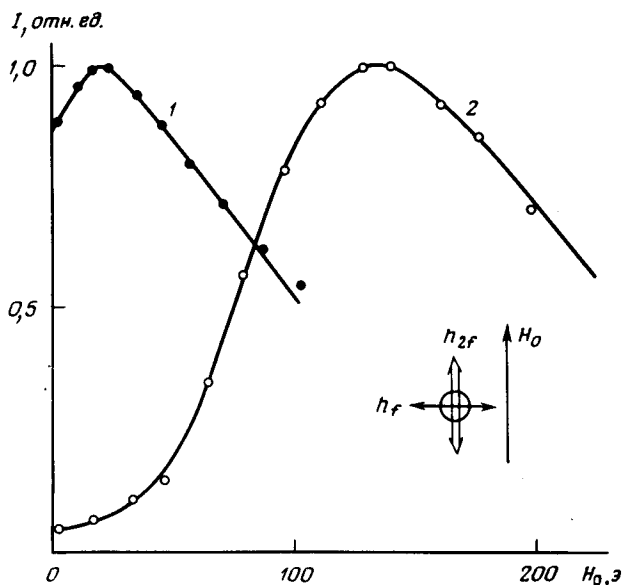


Рис. 2. Зависимость интенсивности эха от величины внешнего магнитного поля для необогащенного (1) и обогащенного (2) образцов

Различие в поведении сигнала эха для обогащенного и необогащенного образцов наблюдается не только по отношению к импульсам накачки. В отсутствие накачки обнаружены различные зависимости относительных значений интенсивности сигнала эха от величины внешнего магнитного поля для обогащенного и необогащенного образцов (рис. 2). Обращает на себя внимание аномальное поведение ($I \rightarrow 0$) интенсивности эха при $H_0 \rightarrow 0$. В то же время для необогащенного образца зависимость носит обычный характер [6]. Заметим, что поля насыщения в FeVO_3 по данным [6] составляют ~ 20 э и с учетом размеров кристаллов соответствуют данным, полученным нами при изучении петель гистерезиса в наших образцах. Соотношение абсолютных максимальных значений интенсивности эха для обоих типов образцов в пределах точности измерений соответствует количеству ядер Fe^{57} в каждом из образцов.

Таким образом основные итоги проведенных экспериментов следующие. 1. Для обогащенного образца наблюдается аномальное уменьшение интенсивности в нулевом внешнем поле. 2. Наблюдается пороговый эффект накачки строго на удвоенной частоте. 3. Наблюдается параметрическое эхо, если импульс накачки заменяет второй формирующий импульс. 4. Никаких эффектов, связанных с накачкой, не наблюдается в необогащенных образцах.

Что касается интерпретации полученных данных, то можно указать лишь на то, что существующие модели не позволяют объяснить наблюдаемые эффекты. Например, оценки для порогового поля возбуждения ядерных спиновых волн в модели [2] дают для FeVO_3 величину ~ 400 э,

что на два порядка превосходит наблюдаемое значение. Оценка для коэффициента усиления продольного радиочастотного поля на основании модели [7] дает для FeVO_3 величину меньшую единицы и предложенный в [7] механизм параметрической накачки малоэффективен. В данном случае необходим, по-видимому, иной подход для объяснения полученных данных.

Авторы благодарят Г.Т.Андрееву за выращивание монокристаллов.

Физико-технический
институт
им. А.Ф.Иоффе
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
10 марта 1978 г.

Литература

- [1] В.Т. Adams, L. Hinderks, P.M. Richards. J. Appl. Phys., **41**, 931, 1970.
 - [2] А.Ю.Якубовский. ЖЭТФ, **67**, 1539, 1974.
 - [3] С.А.Говорков, В.А.Тулин. ЖЭТФ, **70**, 1876, 1976.
 - [4] Ю.М.Буньков. Письма в ЖЭТФ, **23**, 271, 1976.
 - [5] М.П.Петров, Г.А.Смоленский, А.П.Паугурт, С.А.Кижаяев, М.К.Чижов. ФТТ, **14**, 109, 1972.
 - [6] Н.М.Саланский, Е.А.Глозман, В.Н.Селезнев. ЖЭТФ, **68**, 1413, 1975.
 - [7] Ю.М.Буньков, С.О.Гладков. ЖЭТФ, **73**, 2181, 1977.
-