

ОБНАРУЖЕНИЕ АНИЗОТРОПИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЩЕЛИ В Fe_3VO_6

© Н.К.Даньшин, Ю.И.Непочатых

Донецкий физико-технический институт Академии наук Украины,

340114 Донецк, Украина

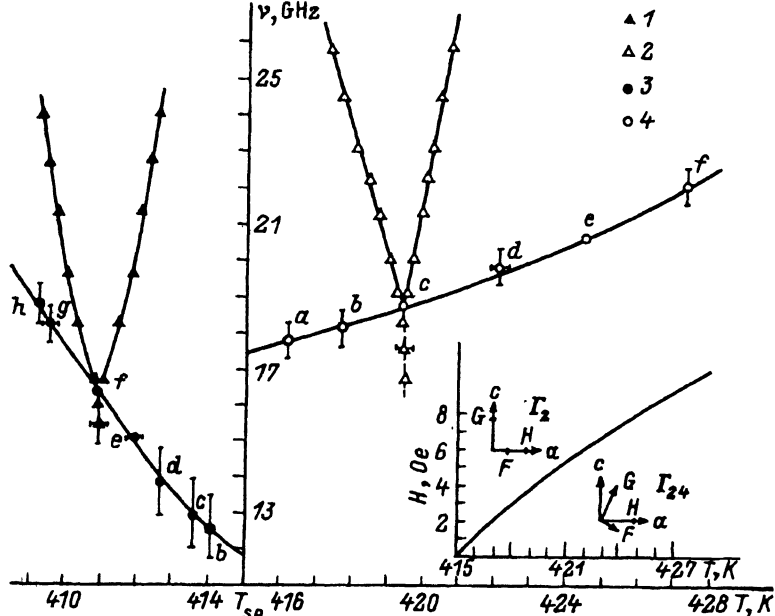
(Поступила в Редакцию 18 октября 1995 г.

В окончательной редакции 12 марта 1996 г.)

Обнаружена анизотропия энергетической щели в Fe_3VO_6 .

Слабый ферромагнетик Fe_3VO_6 является соединением, изоморфным редкоземельным ортоферритом, с температурой упорядочения железа $T = T_N = 508$ К. При температуре $T = T_{SR} = 415$ К в нем происходит спонтанная переориентация $\Gamma_2 - \Gamma_4$. Уникальность Fe_3VO_6 заключается в том, что в отличие от ортоферритов здесь эта переориентация происходит путем фазового перехода первого рода (ФП-1): векторы ферромагнетизма \mathbf{F} и антиферромагнетизма \mathbf{G} разворачиваются от оси $a(c)$ к $c(a)$ скачком. Тем не менее в первых теоретических исследованиях мягкой магниторезонансной моды в окрестности этого перехода [1] был сделан вывод о том, что ее частота обращается в нуль в точке $T = T_{SR}$ без какого-либо разрыва температурной зависимости резонансных частот, обычного для ФП-1. Но в последующих измерениях этой ветви спектра [2] в точке спонтанного перехода $\Gamma_2 - \Gamma_4$ была обнаружена значительная энергетическая щель. Однако, как теперь стало ясно, недостаточная разрешающая способность использованной в [2] методики не позволила увидеть более тонкие особенности магниторезонансного спектра на границе фаз. По результатам высокочастотных [2] и акустических [3] исследований Fe_3VO_6 был сделан вывод о том, что реализующийся здесь спонтанный ФП-1 $\Gamma_2 - \Gamma_4$ по своему характеру близок к фазовому переходу второго рода (ФП-2).

Методика данного эксперимента состояла в следующем. Как известно [4], включение сколь угодно малого магнитного поля H , направленного по осям кристалла a или c , может перевести коллинеарные фазы Γ_2 и Γ_4 в скошенную Γ_{24} . В случае Fe_3VO_6 это имеет место, если направить $H \parallel c$ в области $T < T_{SR}$ или в поле $H \parallel a$ при температурах $T > T_{SR}$. В этих условиях путем изменения поля при $T = \text{const}$ или температуры при $H = \text{const}$ можно реализовать ФП-2 типа завершения спиновой переориентации. При этом поле $H \parallel c$ будет индуцировать переход $\Gamma_{24} - \Gamma_4$, а поле $H \parallel a$ — соответственно переход $\Gamma_{24} - \Gamma_2$. Структура последнего для примера приведена на вставке рисунка на фоне соответствующей ему $H - T$ -фазовой диаграммы, полученной в данном эксперименте.



Температурные зависимости частот мягкой моды в различных полях (1, 2) и энергетической щели на линиях переходов (3, 4).

$H(Oe)$: 1 — 10 ($H \parallel c$), 2 — 4 ($H \parallel a$); 3 — $\Gamma_4 - \Gamma_{24}$, 4 — $\Gamma_2 - \Gamma_{24}$. Каждая точка на температурной зависимости щели соответствует следующим значениям поля. $H(Oe)$: а — 1.25, б — 2.5, в — 4, д — 6, е — 8, ф — 10, г — 12, h — 12.5. На вставке — фрагмент фазовой диаграммы Fe_3VO_6 при $H \parallel a$ и структура перехода $\Gamma_{24} - \Gamma_2$, реализующегося в такой ориентации поля.

Измерения производились следующим образом. На первом этапе достигалась достаточно точная ориентация поля по одной из осей кристалла ($10-20'$). Затем при фиксированных значениях магнитного поля, модулированного с частотой 39 Hz, на ряде частот в диапазоне 12–26 GHz записывались производные сигналов поглощения отраженной мощностью СВЧ при сканировании температуры. По совокупности этих данных были восстановлены температурные зависимости магниторезонансных частот при заданных H . Примеры таких зависимостей приведены на рисунке. Они имеют вид, характерный для мягкой моды. Минимальная частота каждой такой зависимости является энергетической щелью в точке завершения спиновой переориентации на линии ФП-2. Из приведенных на рисунке данных видно, что температурные зависимости энергетических щелей при температурах выше и ниже T_{SR} существенно различны. Основным результатом данных измерений заключается в том, что экстраполяция этих зависимостей к точке спонтанного перехода ($H = 0, T = 115$ K) дает разные значения щели в этой точке. Фактически, обнаружен скачок частот в магниторезонансном спектре величиной ≈ 6 GHz. Этот результат является неожиданным. Он не только не следует из расчетов магниторезонансного спектра Fe_3VO_6 , но в теории [1] его отсутствие специально обосновывается, хотя в общем случае этот эффект является характерным признаком ФП-1.

Поскольку магнитное поле переводит ФП-1 в ФП-2, то в соответствии с существующими представлениями указанный скачок частот в поле должен исчезать. Что тогда означает его сохранение при та-

кой трансформации в Fe_3VO_6 ? Следует допустить, что в сравнительно малом поле, т. е. уже в условиях индуцированного ФП-2, но вблизи от спонтанного ФП-1, это есть своеобразная память о последнем. Таким образом, анизотропия энергетической щели в магнитном поле наведена близостью ФП-1. Это влияние является, по-видимому, прямым следствием того, что в Fe_3VO_6 спонтанный ФП-1 по природе близок к ФП-2. В результате этого индуцированный сравнительно малым полем ФП-2 становится неустойчивым и тем больше, чем ближе он находится к точке спонтанного ФП-1.

В пользу такого объяснения результатов говорит и экстраполяция температурных зависимостей щелей к точке $T = T_{\text{SR}}$ из области, максимально удаленной от T_{SR} (достигнутой к настоящему времени в экспериментах). Для этого мы воспользовались результатами наших измерений при $T > 425 \text{ K}$ (см. рисунок) и данными работы [5], полученными в области температур $T = 290\text{--}380 \text{ K}$. Из этой экстраполяции видна выраженная тенденция к совпадению щелей при подходе к точке спонтанного перехода со стороны температур $T < T_{\text{SR}}$ и $T > T_{\text{SR}}$ (в обоих случаях получаем щель, близкую к 15 Ghz). При большой грубости такого приема можно, тем не менее, заметить, что этот факт является логичным, так как указанная экстраполяция производится из области, где ФП-2 уже достаточно устойчив. А для него отсутствие скачка частот на границе фаз является фундаментальным свойством. Но так или иначе, непосредственными измерениями обнаружены заметная анизотропия энергетической щели при изменении ориентации магнитного поля на 90° в *ac*-плоскости и соответствующий ей скачок частот в точке спонтанного ориентационного ФП-1 $\Gamma_2\text{--}\Gamma_4$, что не согласуется с расчетами, проведенными конкретно для Fe_3VO_6 .

Что можно сказать в целом о происхождении энергетических щелей? Это предмет отдельных исследований, которые находятся за пределами целей данной работы. Можно лишь отметить, что в области ФП-2 они являются результатом динамического взаимодействия различных колебательных подсистем Fe_3VO_6 (что, кстати, не учитывалось в теории [1] и конкурирующих вкладов прецессии [6] и продольных колебаний намагниченностей подрешеток [7]. Причем в Fe_3VO_6 последние из-за относительно высокой T_{SR} должны вносить существенный вклад в динамику переориентации. В точке спонтанного перехода вклад в величину щели может вносить и остаточная магнитная анизотропия, присущая ФП-1 в упорядоченных магнетиках.

Работа финансируется Фондом фундаментальных исследований ГКНТ Украины и поддерживается Фондом Дж. Сороса (грант N К6Е100).

Список литературы

- [1] В.Э. Арутюнян, К.Н. Кочарян, Р.М. Мартиросян. ЖЭТФ **96**, 1381 (1989).
- [2] В.Э. Арутюнян, Н.К. Данышин, К.Н. Кочарян, Г.Г. Крамарчук, Р.М. Мартиросян. ФТТ **34**, 7, 2251 (1992).
- [3] Л.Т. Цымбал, А.И. Изотов, Н.К. Данышин, К.Н. Кочарян. ЖЭТФ **105**, 948 (1994).
- [4] К.П. Белов, А.И. Звездин, А.М. Кадомцева, Р.З. Левитин. Ориентационные переходы в редкоземельных ортоферритах. Наука. М. (1979).
- [5] В.Э. Арутюнян, К.Н. Кочарян, Р.М. Мартиросян, А.Г. Березин, П.Ю. Марчуков, Е.Г. Рудашевский. ЖЭТФ **98**, 712 (1990).
- [6] В.Д. Бучельников, И.В. Бычков, В.Г. Шавров. ЖЭТФ **101**, 1869 (1992).
- [7] А.М. Балбашов, Ю.М. Гуфан, П.Ю. Марчуков, Е.Г. Рудашевский. ЖЭТФ **94**, 305 (1988).