

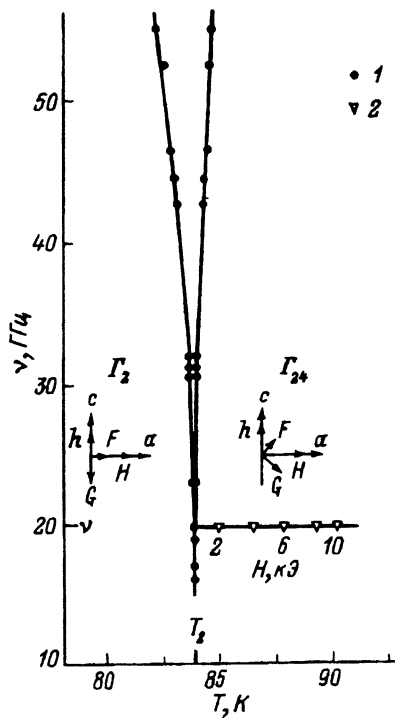
О ПРИРОДЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЩЕЛЕЙ В СПЕКТРЕ СПИНОВЫХ ВОЛН ПРИ ОРИЕНТАЦИОННЫХ ПЕРЕХОДАХ

Н.К.Даньшин, Г.Г.Крамарчук

Во всех экспериментах по изучению антиферромагнитного резонанса в редкоземельных (РЗ) ортоферритах регистрируются значительные по величине энергетические щели на границах области переориентации в точках фазовых переходов второго рода (ФП-2). К настоящему времени сложились два в равной степени обоснованные подхода к объяснению этих высокочастотных эффектов. Один из них основан на решении обычных уравнений Ландау-Лифшица, описывающих динамику многоподрешеточных магнетиков, в условиях сохранения намагниченностей подрешеток железа: $M_1^2 = M_2^2 = \text{const}$ при любой температуре $T < T_N$ (T_N — температура слабоферромагнитного упорядочения спинов железа). Согласно этой модели, наблюдаемые на опыте магниторезонансные моды являются по происхождению мягкими, а энергетические щели есть результат динамического взаимодействия различных колебательных подсистем магнетика: упорядоченных d -ионов железа, парамагнитных РЗ f -ионов, дипольной (электромагнитной) и упругой [1,2]. Эта теория учитывает и тот факт, что в точках перехода мягкой может быть как d -, так и f -мода [3].

Другой подход [4,5] базируется на учете диссипации и продольных колебаний намагниченности, когда сохраняется лишь вектор антиферромагнетизма: $\mathbf{G} = (\mathbf{M}_1 - \mathbf{M}_2)^2 = \text{const}$. В этом случае мягкой становится новая, чисто релаксационная мода, а регистрируемые в эксперименте мягкие моды на самом деле таковыми не являются. Соответствующие им частотные щели $\nu \sim \sqrt{\chi_{\parallel}/\chi_{\perp}} H_{\parallel}$ ($\chi_{\parallel}, \chi_{\perp}$ — соответственно продольная и поперечная восприимчивости d -подрешетки, H_{\parallel} — поле ФП-2) есть результат взаимодействия наблюдаемых мод с релаксационными.

Каждая из указанных моделей проверялась и получила удовлетворительное подтверждение, но в несопоставимых условиях — на разных ортоферритах и при различных способах реализации переходов: [1,2] — в экспериментах на ортоферритах иттербия, эрбия, гольмия, тулия при спонтанных переходах; [4,5] — на ортоферритах иттрия и диспрозия в условиях индуцирования перехода магнитным полем. Представляло интерес провести эксперимент в условиях, удовлетворяющих как [1,2], так и [4,5]. К ним относятся: 1) один и тот же вид фазового перехода $\Gamma_2 - \Gamma_{24}$, 2) осуществление перехода в магнитном поле, 3) одинаковая геометрия опыта, $\mathbf{H} \parallel \mathbf{a}$, $\mathbf{h} \perp \mathbf{H}$. Поскольку эти условия одинаково удовлетворяют обеим моделям, то не может быть речи о выяснении справедливости одной из них и несправедливости другой. Задачей данной работы является проведение экспериментов на одном из ортоферритов, в котором наблюдаемая спиновая динамика спонтанных переходов согласуется с выводами [1,2] в условиях, когда следует ожидать реализации эффектов, следующих из модели [4,5].



Температурная зависимость частоты мягкой моды магнитного резонанса в поле $\mathbf{H} = 0$ (1) и энергетических щелей в полях ($\mathbf{H} \parallel a$) = 2, 4, 6, 8, 10 кЭ (2) в точках перехода $\Gamma_2 - \Gamma_{24}$.

$G = M_1 - M_2$; $F = M_1 + M_2$; h — магнитная составляющая высокочастотного поля; a, c — оси кристалла; T_2 — температура спонтанного перехода $\Gamma_2 - \Gamma_{24}$; ν_2 — энергетическая щель в точке этого перехода.

Наиболее подходящим для этого является TmFeO_3 . В нем размягчающаяся квазиферромагнитная резонансная ветвь наиболее близка к таковой в YFeO_3 , который является модельным для теории [4]. В нашем эксперименте, так же как и в [4,5], измерялась частотная щель на границе ФП-2 между симметричной фазой Γ_2 (G_z, F_x) и угловой Γ_{24} (G_{xz}, F_{xz}) в поле \mathbf{H} , направленном по a -оси кристалла (температура спонтанного перехода $T_2 = 84$ К).

Результаты эксперимента представлены на рисунке. Получены они на сферическом образце (диаметром ~ 0.9 мм) следующим образом. Сначала достигалась и фиксировалась максимально точная ориентация поля $\mathbf{H} \parallel a$ в плоскости переориентации ac ($\sim 0.5'$) по пробным записям [4]. Затем восстанавливались температурные зависимости частот мягкой моды и определялись соответствующие им энергетические щели при различных значениях H . Они указаны на рисунке под соответствующими им температурными точками (здесь же показана структура перехода совместно с геометрией опыта). Основной результат заключается в том, что в пределах достигнутой точности энергетические щели ν_2 не зависят от поля, тогда как в соответствии с выводами [4] приращение щели, которое следует ожидать при $H = 10$ кЭ, по сравнению с ее значением в точке спонтанного перехода ($H = 0$) должно составить ~ 8 ГГц. Это значительно превышает погрешность в определении щелей (± 2 ГГц).

Таким образом, полученный результат на первый взгляд противоречит предложенному в [4,5] механизму формирования энергетических щелей. Однако из сопоставительного анализа всей совокупности экспери-

ментальных данных на разных РЗ ортоферритах можно сделать иной вывод. Обратим внимание на то, что теория [4,5] апробировалась на экспериментах с YFeO_3 и DyFeO_3 , где исследуемый переход реализовался при сравнительно высоких температурах и в сильном магнитном поле. Снижение «жесткости» подрешетки железа при $T \rightarrow T \gtrsim 640$ К приводит к тому, что на верхней границе температурного диапазона этих опытов (~ 400 К) $\chi_{\parallel}/\chi_{\perp}$ достигает ~ 0.5 , т.е. половины предельного значения $\chi_{\parallel}/\chi_{\perp} = 1$. Это вместе с высокими значениями поля перехода делает эффекты проявления обменной релаксационной моды, связанной с продольными колебаниями намагниченности, ярко выраженными. Но уже при $\chi_{\parallel}/\chi_{\perp} \lesssim 0.1$, чему соответствует $T < 100$ К, вклад продольных колебаний в величины наблюдаемых щелей может быть неощутимо мал по сравнению с вкладом от механизмов [1,2]. Это скорее всего и имеет место в данном эксперименте, как и в совпадающих с ним по технологии измерениях на YbFeO_3 [6] ($T_2 \sim 7$ К), где также не обнаружено зависимости щелей от поля.

Утверждение сводится к следующему. Полученная здесь независимость щелей от поля не противоречит результатам [4,5], где возрастание ν_2 в поле является основным свойством. Скорее всего, механизмы [1,2], с одной стороны, и [4,5] — с другой, являются доминирующими в разных температурных областях, а в некотором переходном интервале температур — конкурирующими, но их вклады в величины щелей являются аддитивными.

При низких температурах продольная восприимчивость мала и мягкой является квазиферромагнитная мода железа, тогда как с повышением температуры в связи с ростом продольной восприимчивости и диссипации мягкой становится релаксационная мода, которая теперь и задает величины наблюдаемых щелей. При этом происходит плавный переход от условия $M_1^2 = M_2^2 = \text{const}$ к условию $G^2 = \text{const}$.

Работа финансируется из фонда фундаментальных исследований ГНКТ Украины.

Список литературы

- [1] Бучельников В.Д., Бычков И.В., Шавров В.Г. // ЖЭТФ. 1992. Т. 101. № 6. С. 1869.
- [2] Бучельников В.Д., Бычков И.В., Шавров В.Г. // ФНТ. 1992. Т. 18. № 12. С. 1342.
- [3] Мухин А.А., Прохоров А.С. // Магнитная спектроскопия антиферромагнитных диэлектриков. Редкоземельные ортоферриты. Труды ИОФ АН СССР. 1986. Т. 25. С. 162.
- [4] Балбашов А.М., Березин А.Г., Гуфан Ю.М. и др. // ЖЭТФ. 1987. Т. 93. № 1(7). С. 302.
- [5] Балбашов А.М., Гуфан Ю.М., Марчуков П.Ю., Рудашевский Е.Г. // ЖЭТФ. 1988. Т. 94. № 4. С. 305.
- [6] Данышин Н.К., Жерлицын С.В., Звада С.С. и др. // ФТТ. 1989. Т. 31. № 5. С. 198.

Донецкий физико-технический институт
АН Украины

Поступило в Редакцию
15 февраля 1993 г.
В окончательной редакции
27 апреля 1993 г.