

ОБНАРУЖЕНИЕ ЩЕЛИ В СПЕКТРЕ СПИНОВЫХ ВОЛН В YFeO_3 ПРИ ОРИЕНТАЦИОННОМ ПЕРЕХОДЕ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ

*А.М.Балбашов, А.Г.Березин, Ю.М.Гуфан, Г.С.Колядко,
П.Ю.Марчуков, И.В.Николаев, Е.Г.Рудашевский*

При спиновой переориентации в YFeO_3 , индуцированной магнитным полем $\mathbf{H} \parallel \mathbf{a}$, частота АФМР не обращается в нуль. Из построенной теории следует, что обнаруженная щель $\nu_0 \sim \sqrt{\chi_{\parallel}}$. Указанный переход, являясь непрерывным по H , не обладает свойствами фазового перехода второго рода.

Исследования антиферромагнитного резонанса (АФМР) в ортоферрите иттрия (YFeO_3) в области спин-переориентационного перехода, индуцированного магнитным полем, до настоящего времени проводились на ограниченном числе частот ¹. Как следует из работ ^{1,2} частота АФМР, соответствующая смягчающейся моде однородных колебаний намагниченности, обращается в нуль в поле перехода H_{\parallel} из угловой фазы в фазу $G_z F_x$ ³. Однако до настоящего времени не было проведено подробного изучения зависимости частот АФМР от приложенного поля в области указанного перехода.

Проведенные нами исследования впервые показали наличие значительной энергетической щели в поле H_{\parallel} . Измерения проводились на установке, описанной в ⁴. Генераторами электромагнитного излучения (100 ÷ 200 ГГц, $\lambda = 3 \div 1,5$ мм) служили лампы обратной волны. Длина волны измерялась с помощью интерферометра Фабри – Перо ⁵ с точностью 0,5%. Для получения магнитного поля использовалась установка "Соленоид" Лаборатории сильных магнитных полей ИОФАН СССР ⁶. Калибровка поля с точностью 1% осуществлялась по положению линий ЭПР в дифенилпикрилгидразиле, закрепленном на образце.

В эксперименте измерялись положения линий поглощения в зависимости от приложенного магнитного поля при $T = 293$ К. Образец YFeO_3 был получен методом бестигельной зонной плавки с радиационным нагревом ⁷ и представлял собой пластинку размером $6 \times 3 \times 0,4$ мм³, ориентированную перпендикулярно ($\pm 1^\circ$) оси \mathbf{a} кристалла и отоженную в кислороде с последующим медленным охлаждением. У отоженного кристалла линии АФМР имели правильную форму при ширине 600 – 700 Э, в то время как у неотожженного – 1,5 – 2 кЭ. Прецизионная установка образца в магнитном поле осуществлялась по максимальному расхождению пиков АФМР при $H > H_{\parallel}$ и $H < H_{\parallel}$. Точность ориентации поля в направлении оси \mathbf{a} в плоскости \mathbf{ac} составляла 5 угловых минут. Отклонение поля в плоскости \mathbf{ab} на величину $\pm 2^\circ$ не вызывало каких-либо изменений в положении линий АФМР.

Результаты измерений приведены на рисунке. Кривая 1 соответствует зависимости квадрата частоты АФМР от поля при наивысшей достигнутой точности ориентации образца. Кривые 2 и 3 получены при отклонении магнитного поля в плоскости \mathbf{ac} на 5 и 30 угловых минут соответственно. Значение минимальной энергетической щели, полученное в эксперименте, оказалось равным 126 ($\pm 0,02$) ГГц. Экстраполяция зависимости $\nu(H)$ из области полей $H > 1,1 H_{\parallel}$ к полю спин-переориентационного перехода H_{\parallel} (точка А на рисунке) дает значение 107 ($\pm 0,02$) ГГц, устойчивое к разориентации поля до 2° в любом направлении.

Таким образом, проведенные нами эксперименты показали, что при спин-переориентационном переходе индуцированном магнитным полем, в случае высокоточной ($\pm 5'$) ориентации последнего вдоль оси \mathbf{a} кристалла величина энергетической щели в спектре спиновых волн не обращается в нуль. Следует отметить, что на частотах, меньших ν_0 , соответствующей величине энергетической щели, в поле перехода наблюдается поглощение электромагнитного излучения, которое может быть связано с "хвостами" линий АФМР.

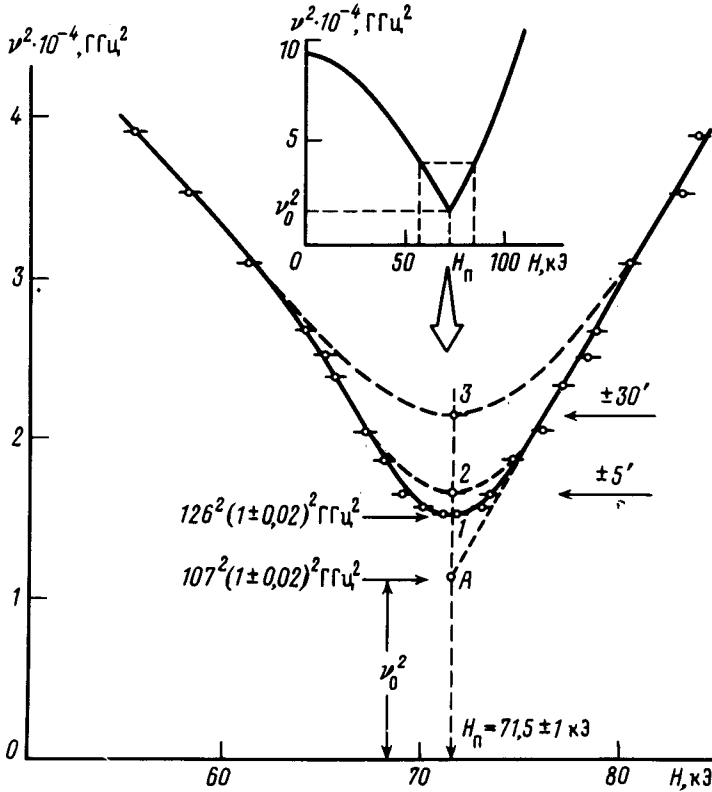
Для интерпретации полученных результатов был использован неравновесный термодинамический потенциал Ландау, записанный в соответствии с симметрией орторомбических

$$\Phi(M, L) = \Phi_0(L^2) + \frac{1}{2}BM^2 + \frac{1}{2}D(ML)^2 + d(M_xL_z - M_zL_x) - MH +$$

$$+ \frac{1}{2}a_1L_x^2 + \frac{1}{2}a_2L_y^2 + \frac{1}{2}a_3L_z^2 + \frac{1}{4}a_{11}L_x^4 + \frac{1}{4}a_{22}L_y^4 + \frac{1}{4}a_{33}L_z^4 +$$

$$+ \frac{1}{2}a_{12}L_x^2L_y^2 + \frac{1}{2}a_{13}L_x^2L_z^2 + \frac{1}{2}a_{23}L_y^2L_z^2,$$

где $M = M_1 + M_2$; $L = M_1 - M_2$; M_1, M_2 — намагниченности подрешеток. Теоретический анализ показал, что в поле перехода H_{Π} (при конечной температуре $H_{\Pi} = \chi_{\perp}(\chi_{\perp} - \chi_{\parallel})^{-1} \times \{-H_D/2 + [H_D^2/4 + (\chi_{\perp} - \chi_{\parallel})\chi_{\perp}^{-1}H_EH_{Aa}]^{1/2}\}$) энергетическая щель в частотной шкале равна $\nu_0 = (2\pi)^{-1} \gamma(\chi_{\parallel}/\chi_{\perp})^{1/2} H_{\Pi}$, где $\chi_{\perp}^{-1} = B$, $\chi_{\parallel}^{-1} = B + DL_0^2$, $H_D = dL_0$, $H_EH_{Aa} = \chi_{\perp}^{-1}L_0^2[a_3 - a_1 + (a_{33} - a_{13})L_0^2]$. Для получения этой величины использовались простейшие термодинамические уравнения движения^{10, 11} при условии $L^2 = L_0^2$, где L_0 — равновесное значение вектора L . На приведенном рисунке и в расчетах для кинетического коэффициента γ использовалось значение $\gamma_0 = ge/2mc$.



Зависимость квадрата частоты АФМР от внешнего поля. На вставке выделена исследованная в данной работе область спектра.

Проведенные оценки для энергетической щели, связанной с магнитоупругим взаимодействием, дают на порядок меньшую величину, чем обнаружена в эксперименте.

Таким образом, на основании динамического эксперимента определено отношение $\chi_{\parallel}/\chi_{\perp}$ для антиферромагнетика со слабым ферромагнетизмом — $YFeO_3$ ($\chi_{\parallel}/\chi_{\perp} = 0,3 \pm 10\%$ при $T = 293$ К).

Теоретический анализ и результаты эксперимента показали, что при $H = H_{\Pi}$ переход из угловой фазы в фазу G_zF_x не обладает свойствами фазового перехода второго рода: на линии потери устойчивости углового решения и совпадающей с ней линии возникновения

устойчивости фазы $G_z F_x$ частота АФМР не обращается в нуль. Таким образом, энергетическая щель при всех температурах отлична от нуля в той мере, в какой $(\chi_{\parallel} / \chi_{\perp})^{1/2}$ отлична от нуля.

Авторы глубоко признательны академику А.М.Прохорову за постоянное внимание к работе и обсуждение результатов. Искренне благодарим В.Г.Веселаго и Л.П.Максимова за содействие при проведении эксперимента на установке "Соленоид".

Литература

1. Ожогин В.И., Шапиро В.Г., Гуртовой К.Г., Галстян Е.А., Червоненкис А.Я. ЖЭТФ, 1972, 62, 2221.
2. Мухин А.А. Препринт № 245 ИОФАН СССР, 1984 г.
3. Белов К.П., Звездин А.К., Кадомцева А.М., Левитин Р.З. Ориентационные переходы в редкоземельных магнетиках., М.: 1979, Наука.
4. Rudashevsky E.G., Prochorov A.S., Velikov L.V. IEEE Transactions on Microwave Theory and Technique, 1974, MTT-22, 1064.
5. Виноградов Е.А., Дианов Е.М., Ирисова Н.А. Письма в ЖЭТФ, 1965, 2, 322.
6. Веселаго В.Г., Максимов Л.П., Прохоров А.М. ПТЭ, 1968, № 4, 192.
7. Балбашов А.М., Червоненкис А.Я., Антонов А.В., Бахтеузов В.Е. Изв. АН СССР, сер. физ., 1971, 35, 1243.
8. Дзялошинский И.Е. ЖЭТФ, 1957, 32, 1547.
9. Боровик-Романов А.С. Антиферромагнетизм. Сб. Антиферромагнетизм и ферриты. Сер. физ.-мат. наук, т. 4, изд. ВИНТИ, Москва, 1962.
10. Гуфан Ю.М. ЖЭТФ, 1971, 60, 1537.
11. Рудашевский Е.Г. Тезисы докладов на 16 Всесоюзной конференции по физике магнитных явлений. Тула, 1983, 3, 150.