

НЕОБЫЧНОЕ ПОВЕДЕНИЕ ЧАСТОТ МАГНИТНОГО РЕЗОНАНСА HoFeO_3 В ОБЛАСТИ СПИНОВОЙ ПЕРЕОРИЕНТАЦИИ

А.М.Балбашов, Г.В.Козлов, С.П.Лебедев, А.А.Мухин,
А.Ю.Пронин, А.С.Прохоров, А.М.Прохоров

В спектрах HoFeO_3 , измеренных в диапазоне частот $2 < \nu < 30 \text{ см}^{-1}$, обнаружены две моды АФМР в Fe-подсистеме и редкоземельная мода. Температурное поведение частот АФМР в области спиновой переориентации отличается от наблюдаемого в других редкоземельных ортоферритах, что связывается нами с наличием в HoFeO_3 сильного взаимодействия магнитных возбуждений в подсистемах железа и гольмия.

Среди редкоземельных ортоферритов кристаллы HoFeO_3 занимают особое место. Согласно данным оптических исследований¹⁻³ энергия расщепления основного квазидублета редкоземельного иона приходится непосредственно на область частот антиферромагнитного резонанса (АФМР) в подсистеме Fe.

Предпринятое в данной работе исследование спектров HoFeO_3 в диапазоне субмиллиметровых волн $2 < \nu < 30 \text{ см}^{-1}$ и интервале температур $4,2 \div 300 \text{ К}$ позволило наблюдать магнитные возбуждения обеих подсистем HoFeO_3 и установить, что их взаимодействие существенным образом сказывается на динамике фазовых переходов $\Gamma_4 \rightarrow \Gamma_{42} \rightarrow \Gamma_2$, приводящих к переориентации слабоферромагнитного момента m от оси c (фаза Γ_4) к оси a (фаза Γ_2) через угловую фазу Γ_{42} .

Как и в прежних наших работах по изучению магнитных спектров ортоферритов, измерения производились на субмиллиметровом ЛОВ спектрометре Эпсилон⁴ с использованием монокристаллов HoFeO_3 , выращенных методом бестигельной зонной плавки с радиационным нагревом⁵. Образцы представляли собой плоскопараллельные пластинки a -среза с поперечными размерами $\sim 10 \text{ мм}$ и толщиной $\sim 1 \text{ мм}$.

В спектрах пропускания HoFeO_3 были обнаружены две узкие ($\Delta\nu/\nu \sim 10^{-2}$) и одна широкая ($\Delta\nu/\nu \sim 1$) линии поглощения, интерпретируемые нами как моды АФМР — $\nu_{1,2}^{\text{Fe}}$ и ЭПР — ν_{R} соответственно. Также как и в других ортоферритах моды АФМР наблюдаются в широком интервале температур: ν_1^{Fe} при ориентации высокочастотного поля $h \perp m$, а ν_2^{Fe} при $h \parallel m$.

Широкая линия ν_{R} в спектрах HoFeO_3 проявляется только при низких температурах $T < 40 \text{ К}$ (рис. 1). По положению в спектре, условию возбуждения и температурной зависимости интенсивности мы идентифицировали это возбуждение с электронным переходом между энергетическими уровнями основного квазидублета иона Ho^{3+} , расщепленного в кристаллическом и обменном полях. Действительно, частота ν_{R} соответствует расщеплению квазидублета Ho^{3+} в фазе Γ_2 , найденного из оптических данных ($\Delta = 6 \div 7,5 \text{ см}^{-1}$)¹⁻³, условие ее возбуждения ($h \perp c$) согласуется с правилами отбора для магнитного момента иона Ho^{3+} ², а увеличение интенсивности с понижением температуры отвечает росту заселенности нижнего уровня квазидублета иона Ho^{3+} .

Обратимся теперь к температурным зависимостям частот АФМР $\nu_{1,2}^{\text{Fe}}$ и редкоземельной моды ν_{R} в области ориентационных фазовых переходов $T_{\text{R}1}$ и $T_{\text{R}2}$ (рис. 2). Согласно модели⁶, учитывающей только динамику Fe-подрешетки, при спиновой переориентации в плоскости ac частота моды ν_2^{Fe} практически не изменяется, а смягчение квазиферромагнитной моды ν_1^{Fe} происходит как в начале ($T_{\text{R}1}$), так и в конце ($T_{\text{R}2}$) процесса переориентации. Такое поведение частот АФМР наблюдалось, в частности, в TmFeO_3 ⁷. В рассматриваемом же случае HoFeO_3 картина оказывается более сложной: при приближении к верхней точке спиновой переориентации $T_{\text{R}1}$ частота ν_1^{Fe} не обнаруживает радикального изменения, и ее смягчение наблюдается только на нижней границе $T_{\text{R}2}$. В то же время частота ν_2^{Fe} сильно понижается вблизи области переходов.

По нашему мнению, такое необычное поведение частоты моды АФМР ν_1^{Fe} обусловлено ее взаимодействием с низколежащей редкоземельной модой ν_R . В фазе Γ_4 частота ν_R , определяемая расщеплением основного квазидублета иона Ho^{3+} только в кристаллическом поле, составляет, согласно ³, 100 ГГц. В фазе Γ_2 ν_R увеличивается за счет дополнительного обменного расщепления до 180 – 230 ГГц. В области спиновой переориентации происходит расталкивание частот моды АФМР и редкоземельной моды, в результате которого в точках фазовых переходов T_{R1} и T_{R2} смягчается ν_R , а ν_1^{Fe} остается конечной. Именно такое поведение мод ν_R и ν_1^{Fe} дают проведенные нами в однодублетном приближении для Ho^{3+} расчеты связанных колебаний магнитных моментов Fe- и Ho-подсистем.

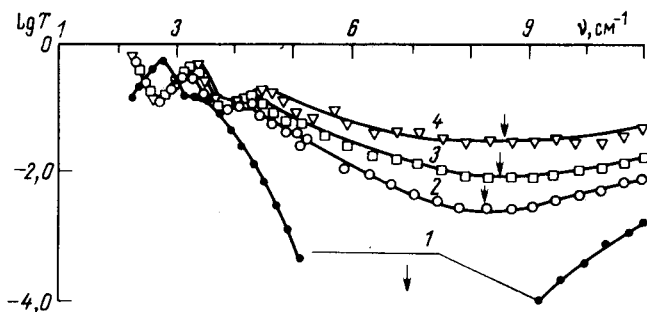


Рис. 1. Спектры пропускания плоскопараллельной пластинки HoFeO_3 толщиной 1,182 мм при $h \parallel b$ - оси: кривая 1 - $T = 8$ К, 2 - 17, 3 - 21,5, 4 - 40

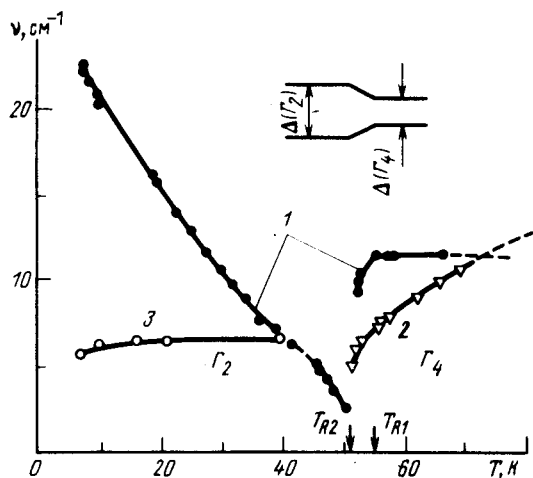


Рис. 2. Температурная зависимость частот АФМР и редкоземельной моды в HoFeO_3 : 1 - ν_1^{Fe} , 2 - ν_2^{Fe} , 3 - ν_R . На вставке показано поведение нижних энергетических уровней иона Ho^{3+} при переориентации

Наблюдаемое в HoFeO_3 сильное смягчение моды ν_2^{Fe} в области фазовых переходов, в результате которого частота ν_2^{Fe} становится меньше ν_1^{Fe} , типично для перехода типа Морина, когда переориентация спинов ионов Fe^{3+} происходит в плоскости ab , и наблюдается, например, в DyFeO_3 ⁸. Это свидетельствует и о тенденции в HoFeO_3 к такому же переходу, т.е. уменьшению энергии анизотропии в плоскости ab , что отмечалось ранее в ⁹. Смягчение моды ν_2^{Fe} HoFeO_3 обусловлено, по-видимому, той же причиной, что и в DyFeO_3 – перенормировкой энергии анизотропии Fe-подсистемы в ab -плоскости обменным взаимодействием R – Fe (R – редкоземельный ион). Вклад в энергию анизотропии дают матричные элементы гамильтониана этого взаимодействия между основным квазидублетом и возбужденными состояниями иона Ho^{3+} . Важным обстоятельством здесь является то, что частота соответствующих переходов существенно превышает ν_2^{Fe} , что не мешает ей смягчаться в отличие от ν_1^{Fe} .

Литература

1. Schuchert H., Hüfner S., Faulhaber R. Z. Phys., 1969, 220, 280.
2. Malozemoff A.P., White R.L. Solid. State. Comm., 1970, 8, 665.
3. Walling J.C., White R.L. Phys. Rev., 1974, B10, 4748.

4. Волков А.А., Гончаров Ю.Г., Козлов Г.В., Лебедев С.П., Мальцев В.И. ПТЭ, 1984, №2, 236.
5. Балбашов А.М., Червоненкис А.Я., Антонов А.В., Бахтлузов В.Е. Изв. АН СССР, сер. физ., 1971, 35, 1243.
6. Shane J.R. Phys. Rev. Lett., 1968, 20, 728.
7. Le Craw R.C., Wolf R., Georgy E.M., Hagedorn F.V., Hensel J.C., Remeika J.P. J. Appl. Phys., 1968, 39, 1019.
8. Балбашов А.М., Волков А.А., Лебедев С.П., Мухин А.А., Прохоров А.С. ЖЭТФ, 1985, 88, 974.
9. Белов К.П., Звездин А.К., Кадомцева А.М., Левитин Р.З. Ориентационные переходы в редкоземельных магнетиках, М.: Наука, 1979.

Институт общей физики
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
31 октября 1985 г.
