

ВЛИЯНИЕ УПОРЯДОЧЕНИЯ ИОНОВ Er НА ЖЕЛЕЗНЫЕ ПОДРЕШЕТКИ В ЭРБИЕВОМ ОРТОФЕРРИТЕ

Н. М. Ковтун, Г. А. Троицкий, В. М. Хмара,

А. Я. Червоменкис

Авторы работ [1, 2] при изучении оптических и мессбауэровских спектров Er^{3+} в $ErFeO_3$ при упорядочении редкоземельных ионов наблюдали расщепление дублета основного состояния Er^{3+} , которое они объясняют дипольными и обменными взаимодействиями как между редкоземельными и железными подрешетками, так и между редкоземельными ионами. В то же время приведенные в этих работах результаты измерений не позволяют разделить вклады каждого рода взаимодействий.

Нам представляется возможным, изучая спектры ядерного магнитного резонанса Fe^{57} при температурах упорядочения редкоземельных ионов, разделить эти вклады. С этой целью нами были изучены спектры ЯМР Fe^{57} в $ErFeO_3$ и их температурные зависимости при упорядочении редкоземельных ионов.

Исследования проводились с помощью спектрометра спинового эха на монокристаллическом эрбиевом ортоферрите, выращенном методом бестигельной зонной плавки с оптическим нагревом [3], с естественным содержанием изотопа Fe^{57} . Радиочастотное магнитное поле прикладывалось параллельно оси с кристалла, вдоль которой при температуре жидкого гелия направлен вектор антиферромагнетизма.

Спектр ЯМР Fe^{57} в $ErFeO_3$ в интервале температур $4,2^\circ - 3,86^\circ K$ состоит из одиночной линии. Ниже температуры $3,86^\circ K$ происходит расщепление одиночной линии на две линии равной интенсивности. Ширины расщепленных линий также равны и сравнимы с шириной нерасщепленной линии (~ 130 мГц). При понижении температуры расщепление вначале резко, а затем медленно увеличивается и ниже $2,9^\circ K$ остается температурно независимым.

Зависимость частоты ЯМР Fe^{57} в ErFeO_3 от температуры приведена на рис. 1. На этом же рисунке для сравнения приведена аналогичная зависимость в тулиевом ортоферрите (пунктирная линия), для которого не наблюдается упорядочения редкоземельных ионов. Видно, что частота ЯМР Fe^{57} в тулиевом ортоферрите в диапазоне температур $4,2^\circ\text{K} - 2,8^\circ\text{K}$ практически постоянна. Для ортоферрита эрбия независимость частоты ЯМР от температуры наблюдается лишь в интервале температур $4,2^\circ\text{K} - 3,86^\circ\text{K}$. Ниже этой температуры происходит не только изменение спектра ЯМР, но и изменение резонансных частот обеих линий с понижением температуры.

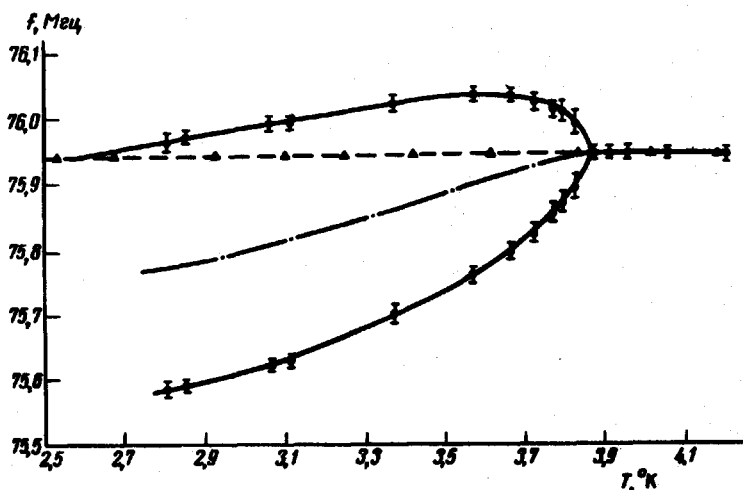


Рис. 1. Температурная зависимость частот ЯМР Fe^{57} в эрбиевом и тулиевом ортоферритах: \bullet — ErFeO_3 ; \blacktriangle — TmFeO_3

Такой характер зависимости спектра ЯМР Fe^{57} в ортоферрите эрбия от температуры обязан упорядочению редкоземельных ионов. При этом предполагается действие двух механизмов: дипольного и обменного взаимодействия между железными и редкоземельными ионами.

Дипольный вклад в локальное поле на ядре Fe^{57} связан с нарушением симметрии окружения ионов железа, которое, по нашему мнению, вызвано анизотропной спонтанной деформацией решетки за счет обменного взаимодействия между ионами эрбия при их магнитном упорядочении. Так как сверхтонкие поля на ядрах ионов железа, находящихся в разных подрешетках, имеют противоположные направления, для одной подрешетки дипольное поле будет складываться со сверхтонким, а для другой вычитаться. Это приводит к различию локальных полей на ядрах ионов различных подрешеток, т. е. к расщеплению спектральной линии. Разность между локальными полями на ядрах ионов двух подрешеток дает, следовательно, удвоенную величину дипольного поля. Температурная зависимость этой разности (расщепления) приведена на рис. 2.

Предполагая дипольный вклад в локальные поля для каждой подрешетки одинаковым и проведя линию (на рис. 1 штрих-пунктирная), относительно которой симметрично располагаются линии спектра ЯМР,

получим вклад в локальное поле за счет обменного взаимодействия между железными и редкоземельными ионами при упорядочении последних. Из рис. 1 следует, что обменное взаимодействие между ионами Er^{3+} и Fe^{3+} уменьшает поле на ядре Fe^{57} по мере упорядочения редкоземельных ионов. Из рис. 1 также следует, что при температуре $2,6^\circ\text{K}$ дипольный вклад в локальное поле на ядре и вклад обменного взаимодействия между ионами железа и эрбия одинаковы по величине.

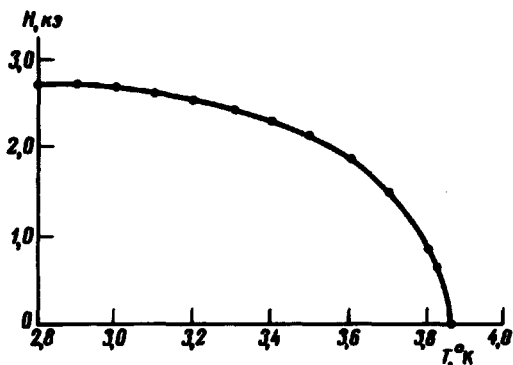


Рис. 2. Температурная зависимость величины расщепления спектра ЯМР Fe^{57} в эрбиевом ортоферрите

В заключение укажем, что с понижением температуры интенсивность сигнала ЯМР уменьшалась и при температуре $2,7^\circ\text{K}$ сигнал не наблюдался. Это связано или с возрастанием энергии магнитной анизотропии, или же с изменением ориентации спинов железа, поскольку интенсивность сигнала ЯМР зависит от взаимной ориентации радиочастотного магнитного поля и вектора антиферромагнетизма железных подрешеток [4].

Так как в тулиевом ортоферрите с понижением температуры интенсивность сигнала увеличивается, то наиболее вероятным является изменение направления спинов железных ионов, вызванное упорядочением редкоземельных подрешеток.

Донецкий
Физико-технический институт

Поступила в редакцию
13 ноября 1973 г.

Литература

- [1] R.Faulhaber, S.Hufner, E.Orlich, H.Schuchert, Zs. Phys., 204, 101 1967.
- [2] W.Wiedemann, W.Zinn, Zs. Angew. Phys., 20, 327, 1966.
- [3] А.В. Антонов, А.М.Балбашов, А.Я.Червоненкис, ФТТ, 12, 1724, 1970.
- [4] Н.М.Ковтун, А.С.Карначев, Е.Е.Соловьев, А.Я.Червоненкис, А.А.Шемяков. ФТТ, 14, 2150, 1972.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ НАБЛЮДЕНИЕ НЕЛИНЕЙНОЙ СТАБИЛИЗАЦИИ НЕУСТОЙЧИВОСТИ ЭЛЕКТРОННЫХ ПУЧКОВ В ПЛАЗМЕ

Л. П. Захаров, А. С. Кимсен, А. Г. Плахов

Явление нелинейной стабилизации неустойчивости пучков в плазме впервые исследовалось теоретически в работе Шапиро и Цытовича [1]. Было показано, что нелинейная перекачка шумов по спектру может привести к их эффективному уходу из области фазового пространства, соответствующей черенковскому резонансу волн и частиц пучка. В результате квазилинейная релаксация пучка или вообще не имеет места, или происходит гораздо медленнее, чем можно было бы ожидать, исходя из оценок линейной теории; соответственно возрастает длина торможения пучка в плазме.

В условиях большинства плазменно-пучковых экспериментов главным нелинейным процессом является рассеяние ленгмюровских волн на ионах плазмы. Заметим, что индуцированное рассеяние в условиях слабой турбулентности до сих пор не наблюдалось экспериментально — имеется лишь ряд эффектов, которые можно объяснить с помощью такого процесса.

В наших экспериментах можно считать выполненным условие

$$\frac{\epsilon}{T_e} \ll \frac{M}{m} \frac{T_e}{T_i}, \quad (1)$$

где ϵ — энергия частиц пучка, прочие обозначения общепринятые. При условии (1) главный нелинейный эффект — рассеяние волн на ионах — приводит к отражению волны с незначительной потерей импульса [2]:

$$\vec{k}' = -\vec{k}(1 - \delta) \quad (2)$$

$$\delta \sim \sqrt{\frac{m T_i}{M T_e}} \frac{\epsilon}{T_e} \ll 1.$$

Порядок величины нелинейного инкремента в этих условиях:

$$\gamma_H \sim \omega_{oe} \frac{W}{n T} \quad (3)$$

где W — интегральная плотность энергии шумов. Если нелинейный инкремент (3) превышает характерный линейный инкремент

$\gamma_1 \sim \omega_{oe} \frac{n'}{n} \frac{\epsilon}{\Delta\epsilon}$, где n' — плотность пучка, $\Delta\epsilon$ — его энергетическая

ширина, возможна эффективная стабилизация неустойчивости. Для этого необходимо, чтобы волна \vec{k}' , определяемая условием (2), уже не была резонансной для частиц пучка. Наилучшим образом условия нелинейной стабилизации могут быть выполнены при следующей постановке опыта.