

образом, солитоны с $\pi/2 < |k| < \pi$ (резкие солитоны) имеют иной характер, чем солитоны с $|k| < \pi/2$ (плавные солитоны) и не являются продолжением последних на область больших k . Подробный анализ резких солитонов будет дан в отдельной работе. Здесь же отметим лишь следующее. Анализ условия (6) показывает, что для заданных параметров системы (т. е. J^z , J^x и A) существует лишь один тип солитонов. В ФМ: если $J^z + A > 0$, то существуют плавные солитоны в интервале $|k| < \pi/2$ для $J^z + A > J^x$; если же $J^z + A < 0$, то существуют резкие солитоны в интервале $\pi/2 < |k| < \pi$ для $|J^z + A| > J^x$ и $\pi/2 < |k| < \arccos [(J^z + A)/J^x]$ для $|J^z + A| < J^x$. Таким образом, в ФМ резкие солитоны появляются лишь при достаточно большой ОА типа «легкая плоскость». Случай АФМ получается изменением знаков J^z , J^x и A , так что резкие солитоны в АФМ существуют тоже лишь при достаточно большой ОА, но уже типа «легкая ось» (условие $J^z + A > 0$).

Автор выражает благодарность Д. А. Яблонскому и А. Л. Сукстанскому за обсуждение работы.

Л и т е р а т у р а

- [1] Косевич А. М., Иванов Б. А. Нелинейные волны намагниченности. Динамические и топологические солитоны. Киев: Наукова думка, 1983. 192 с.
 [2] Гочев И. Г. ЖЭТФ, 1983, т. 85, № 1 (7), с. 199—206.
 [3] Грановский Я. И., Жеданов А. С. ЖЭТФ, 1985, т. 89, № 6 (12), с. 2156—2163.
 [4] Грановский Я. И., Жеданов А. С. Письма в ЖЭТФ, 1986, т. 44, № 5, с. 237—239.
 [5] Грановский Я. И., Жеданов А. С. ТМФ, 1987, т. 71, № 1, с. 143—153.
 [6] Веселов А. П. ТМФ, 1987, т. 71, № 1, с. 154—159.

Донецкий физико-технический
институт АН УССР
Донецк

Поступило в Редакцию
16 декабря 1987 г.

УДК 538.115 : 538.21.213

Физика твердого тела, том 30, в. 6, 1988
Solid State Physics, vol. 30, № 6, 1988

МАГНИТНАЯ ВОСПРИИМЧИВОСТЬ КРИСТАЛЛОВ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ $\{Er_x Y_{1-x}\}_3 Al_5 O_{12}$ ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Х. С. Багдасаров, А. П. Додокин, А. А. Сорокин

Магнитные свойства редкоземельных (РЗ) гранатов алюминатов и галлатов с весьма слабыми взаимодействиями между магнитными ионами и низкими температурами магнитного упорядочения длительное время являются предметом интенсивных экспериментальных и теоретических исследований [1-3]. К числу практически неизученных к настоящему

Экспериментальные значения температур Нееля $T_N(x)$ и параметров $C(x)$, $\theta(x)$, $\alpha(x)$ для кристаллов $\{Er_x Y_{1-x}\}_3 Al_5 O_{12}$

x	$T_N(x)$, мК	$C(x) \cdot 10^2$, К · см ⁻³	$\theta(x)$, мК	$\alpha(x) \cdot 10^3$, см ⁻³
1	155 ± 5	9.20 ± 0.23	50 ± 5	2.67 ± 0.25
0.7	102 ± 5	6.5 ± 0.4	36 ± 7	1.82 ± 0.30
0.5	83 ± 3	4.3 ± 0.2	26 ± 5	1.26 ± 0.25
0.3	54 ± 3	3.03 ± 0.15	15 ± 4	0.84 ± 0.10
0.2	—	2.0 ± 0.1	3.6 ± 2.0	0.54 ± 0.10
0.1	—	1.04 ± 0.07	-0.5 ± 2.0	0.31 ± 0.07
0.075	—	0.78 ± 0.10	0 ± 2	0.23 ± 0.07

времени гранатов принадлежит $\text{Er}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$. Остаются неисследованными и магнитные свойства РЗ гранатов с изоморфным замещением немагнитными ионами в C -узлах структуры. Исследование таких систем позволяет получить дополнительную информацию о природе магнитных взаимодействий между РЗ ионами.

В настоящей работе нами проведены измерения магнитной восприимчивости эрбий-иттриевых алюмогранатов в интервале температур 0.04—4.2 К. Монокристаллы $\{\text{Er}_x\text{Y}_{1-x}\}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ (см. таблицу) выращивались методом вертикальной направленной кристаллизации. Образцы были изготовлены в форме цилиндров высотой 5 см и диаметром 0.63 см, причем

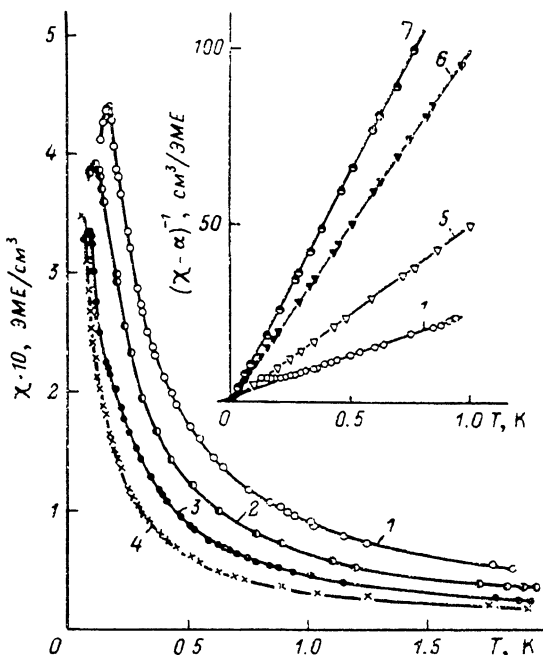


Рис. 1. Температурные зависимости магнитной восприимчивости и обратной магнитной восприимчивости (вставка) кристаллов $\{\text{Er}_x\text{Y}_{1-x}\}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$.

Значения восприимчивости вычислены с учетом размагничивающих факторов образцов. x : 1 — 1, 2 — 0.7, 3 — 0.5, 4 — 0.3, 5 — 0.2, 6 — 0.1, 7 — 0.075.

ось цилиндров совпадала с направлением $[100]$ кристаллов. Магнитная восприимчивость измерялась методом моста Хартсхорна [4] на частоте 33 Гц. В качестве эталонного образца применялся кристалл $\text{Yb}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$, магнитная восприимчивость которого хорошо известна [5].

Исследования при сверхнизких температурах проводились на установке адиабатического размагничивания [6] с использованием в качестве рабочего элемента кристалла $\{\text{Er}_{0.5}\text{Y}_{2.5}\}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$. Тепловой контакт между рабочим элементом и образцом осуществлялся с помощью холодопровода, изготовленного из медных проволок. Температура образца измерялась германиевым термометром сопротивления [7], прокалиброванным по магнитной восприимчивости церий-магниевого нитрата. Возможные ошибки температурных измерений из-за перегрева термометра, согласно результатам специально проведенных исследований, не превышали 1% при $T=0.04$ К и выделяемой в термометре мощности 10^{-13} Вт.

Температурные зависимости магнитной восприимчивости $\chi(T)$ исследованных кристаллов показаны на рис. 1. Характерные максимумы на кривых $\chi(T)$ свидетельствуют об антиферромагнитном характере фазовых переходов в кристаллах с $x \geq 0.3$. Температуры антиферромагнитных переходов $T_N(x)$, приведенные в таблице, соответствуют максимальным значениям восприимчивости указанных гранатов. Анализ результатов измерений показывает, что восприимчивость исследованных кристаллов

при $T \approx 2T_N$ хорошо описывается законом Кюри—Вейсса: $\chi(T, x) = C(x)/[T + \theta(x)] + \alpha(x)$. Значения C , θ , α исследованных кристаллов даны в таблице. Как следует из таблицы, $C(x)$ и $\alpha(x)$ линейно зависят от x , что свидетельствует о независимости среднего значения g -фактора нижнего дублета иона Er^{3+} , а также энергии, разделяющей два низколежащих дублета, от концентрации эрбия. Наличие особенности на кривой $\theta(x)$ (рис. 2) при отсутствии каких-либо аномалий в зависимостях $C(x)$, $\alpha(x)$ указывает на существование концентрационного порога протекания по C -узлам решетке граната в исследованной системе твердых растворов. Существование пороговой концентрации магнитной компоненты свидетельствует о существенной роли обменных взаимодействий в установлении магнитного порядка в $\text{Er}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$.

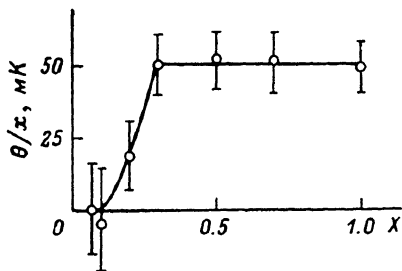


Рис. 2. Зависимость приведенной парамагнитной температуры Кюри от концентрации ионов эрбия для кристаллов $\{\text{Er}_x\text{Y}_{1-x}\}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$.

Полученное значение порога протекания $x_c = 0.15 \pm 0.03$ позволяет оценить число спинов z , эффективно взаимодействующих с данным ионом эрбия в $\text{Er}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$. Согласно [8], дальний порядок в спиновой системе исчезает при критической концентрации магнитных ионов $x_c = 2.6/z$. В нашем случае такая оценка приводит к значению $z = 18 \pm 3$, что свидетельствует о приблизительной равноценности обменных связей в пределах первых четырех координационных

сфер иона Er^{3+} . Полученная оценка позволяет провести сравнение изотропных обменных констант J_1, J_2, J_3 для $\text{Er}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ (рассмотренных в рамках модели молекулярного поля в [1]), наибольший вклад в которые вносят обменные связи данного иона со спинами, принадлежащими соответственно четвертой, третьей и первой-второй координационным сферам. Следствием относительно высокой координации обменных связей ($z=12$), дающих вклад в J_3 по сравнению с J_1 ($z=4$) и J_2 ($z=2$), обусловленных к тому же механизмом обмена более высокого порядка [1], является неравенство $J_3 \gg J_1, J_2$. С учетом этого неравенства нами получена оценка J_3 для $\text{Er}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ по формуле для парамагнитной температуры Кюри θ [1]. Оценка проводилась с использованием нашего экспериментального значения $\theta = 0.05$ К, значений компонент g -тензора [9] и решеточных магнитодипольных сумм [10]. При этом получено значение $J_3 = -46a^{-3}$, где $a = 1.298$ нм — параметр решетки $\text{Er}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$. В [1] рассмотрены два типа антиферромагнитных структур в РЗ гранатах: А и В. Для случая чисто диполь-дипольных магнитных взаимодействий между ионами эрбия по формулам, полученным в [1], нами проведены оценки температур Нееля: $T_N(A) = 0.45$ К, $T_N(B) = -0.044$ К. Как видно из таблицы, экспериментальное значение $T_N = 0.155$ К существенно отличается от оценок. Такое значительное расхождение расчетного и наблюдаемого значений T_N не может быть объяснено в рамках магнитной структуры А простым учетом констант J_1 и J_2 в формуле для $T_N(A)$ [1], так как в этом случае по крайней мере одна из этих констант должна достигать величины, сравнимой с J_3 , что противоречит условию $J_3 \gg J_1, J_2$. Наблюдаемые значения T_N и θ в рамках структуры типа А можно объяснить, учитывая в дипольных суммах [1] члены, ответственные за анизотропную часть обменных взаимодействий P_1^*, P_2^*, P_5^* , имеющие порядок величины J_1, J_2, J_3 соответственно. Оценка по формуле для $T_N(A)$ в предположении $P_5^* \gg P_1^*, P_2^*$ приводит к значению $P_5^* = (15 \pm 5) a^{-3}$. При этом, как показывают расчеты, значение J_3 достаточно слабо зависит от величины P_5^* : $35a^{-3} < -J_3 < 46a^{-3}$ при условии $0 < |P_5^*| < |J_3|$. Наблюдаемые значения T_N и θ в рамках антиферромагнитной структуры В можно объяснить, учитывая только изотропные константы обмена. Заметим, однако, что в РЗ гранатах структура типа В до сих пор экспериментально не наблюдалась [2].

- [1] *Capel H. W.* Physica, 1965, vol. 31, N 7, p. 1152—1176.
 [2] *Белов К. П., Соколов В. И.* УФН, 1977, т. 121, № 2, с. 285—317.
 [3] *Fillippi J., Lasjaunias J. C., Hebral B., Rossat-Mignod J., Tcheou P. J.* Phys. C, 1980, vol. 13, N 7, p. 1277—1283.
 [4] *Уайт Г. К.* Экспериментальная техника в физике низких температур. М.: Физматгиз, 1961. 368 с.
 [5] *Ball M., Garton G., Leask M. J. M., Wolf W. P.* Proceedings of the Seventh International Conference on Low Temperature Physics, (Toronto, Canada), 1960, p. 128—132.
 [6] *Alekseevskii N. E., Dodokin A. P., Bazan C., Bagdasarov Kh. S., Fedorov E. A., Belyaev L. M.* Cryogenics, 1981, vol. 21, N 10, p. 598—600.
 [7] *Зиновьева К. Н., Вайнберг В. В., Воробкало Ф. М., Зарубин Л. И., Болдарев С. Т.* ПТЭ, 1985, № 5, с. 198—200.
 [8] *Эфрос А. Л.* Физика и геометрия беспорядка. М.: Наука, 1982. 176 с.
 [9] *Wolf W. P., Ball M., Hutchings M. T., Leask M. J. M., Wyatt A. F. G.* J. Phys. Soc. Japan, Suppl. B-1, 1962, vol. 17, p. 443—440.
 [10] *Capel H. W., Bidaux R., Carrara P., Vivet E.* Phys. Lett., 1966, vol. 22, N 4, p. 400—403.

Институт кристаллографии
АН СССР
Москва

Поступило в Редакцию
28 июля 1987 г.
В окончательной редакции
21 декабря 1987 г.

УДК 548.0 : 537.534

Физика твердого тела, том 30, в. 6, 1988
Solid State Physics, vol. 30, № 6, 1988

ВЛИЯНИЕ ФОНОННЫХ ВОЗБУЖДЕНИЙ НА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ КАНАЛИРОВАННЫХ ЭЛЕКТРОНОВ

В. С. Мальшевский

Вопрос о влиянии тепловых флуктуаций кристаллического потенциала на спектрально-угловые характеристики излучения релятивистских частиц, движущихся в кристалле, впервые обсуждался в рамках борновского приближения в работе Тер-Микаэляна [1]. Прогресс в физике ориентационных эффектов, возникающих при пролете релятивистских электронов и позитронов через кристаллы, вновь поставил задачу анализа некогерентных процессов, сопровождающих движение частиц в режимах каналирования и квазиканалирования, т. е. таких режимах, при которых условие применимости борновского приближения по взаимодействию с кристаллом нарушено.

В работах Кумахова и сотрудников (см., например, монографию [2] и ссылки в ней), Базылева и Жеваго [3] было показано, что основные особенности излучения в ориентированных кристаллах хорошо описываются усредненным по тепловым колебаниям потенциалом. Ахизер и Шульга [4, 5] показали, что аналогично режиму хаотического движения тепловые колебания атомов приводят не только к искажению усредненного потенциала, но и к появлению дополнительного некогерентного излучения. Некогерентное излучение оказывается существенным в промежуточной спектральной области, т. е. между максимумами спонтанного и когерентного тормозного излучения, является определяющим в жесткой части спектра. В работе Болдышева [6] отмечалось, что наряду с этим коллективный характер колебаний кристаллической решетки может приводить к дополнительным линиям в излучении, которые вызваны электромагнитной конверсией фононных возбуждений на релятивистских электронах и позитронах. Есть сведения о наблюдении этого явления [7-10].