

МАГНИТНАЯ СТРУКТУРА И СВОЙСТВА СОЕДИНЕНИЯ Tb₃Co

Вохмянин А.П.¹, Губкин А.Ф.², Захаров А.Н.², Подлесняк А.А.³, Дорофеев Ю.А.¹,
Теплых А.Е.¹, Гото Т.⁴, Мушников Н.В.¹, Баранов Н.В.¹, Пирогов А.Н.¹

¹Институт физики металлов УрО РАН, 620041 Екатеринбург, Россия

²Уральский государственный университет, 620083 Екатеринбург, Россия

³Лаборатория рассеяния нейтронов, Пауль Шерар институт, СН-5232 Виллиген, Швейцария

⁴Институт физики твердого тела, Университет Токио, 277-8581 Чаба-кен, Япония

Редкоземельные интерметаллические соединения типа R₃Co проявляют специфические магнитные свойства, обусловленные конкуренцией низкосимметричного кристаллического поля и изотропного РККИ обменного взаимодействия [1]. В этих соединениях энергия магнитокристаллической анизотропии чрезвычайно высока (~10⁷ Дж/м³ в Tb₃Co) и сравнима по величине с энергией обменного взаимодействия (температура Нееля T_N=83 К). Как следствие этого, в соединениях реализуются сложные (как соизмеримые, так и несоизмеримые) магнитные структуры.

Цель данной работы состояла в изучении магнитного состояния соединения Tb₃Co в широком интервале температур и внешних магнитных полей с помощью магнитных и нейтронографических измерений.

Измерения намагниченности монокристалла Tb₃Co были проведены в полях до 40 Т, создаваемых сверхпроводящим магнитом (Институт физики твердого тела). Порошковые нейтронограммы Tb₃Co были получены на дифрактометре ДМС (Пауль-Шерар институт) с длиной волны нейтронов λ=2.4 и 3.8 Å. Нейтронографические измерения выполнены в интервале температур 1.5 –150 К.

Для уточнения кристаллической структуры исследуемого образца Tb₃Co использовались нейтронограмма, измеренная (с λ=2.4 Å) при 150 К, и рентгенограмма при 293 К. В результате уточнения получено, что образец имеет кристаллическую структуру типа Fe₃C (пространственная группа Pnma), в которой ионы тербия занимают позиции 4c и 8d, а атомы кобальта расположены только в позиции 4c. Параметры решетки равны a =6.978(1), b =9.397(1) и c =6.272(1) Å при 293 К.

На рисунках 1 и 2 представлены данные магнитных измерений монокристалла Tb₃Co.

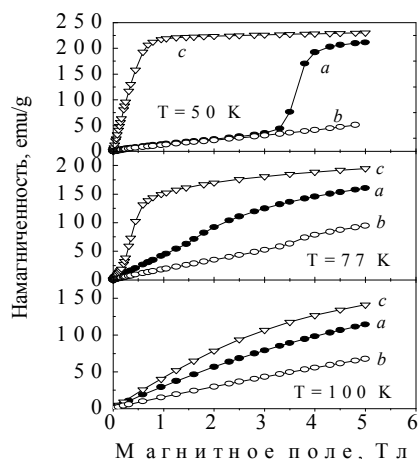


Рис.1. Полевые зависимости намагниченности вдоль *a*-, *b*- и *c*- осей монокристалла Tb₃Co при 50, 77 и 100 К.

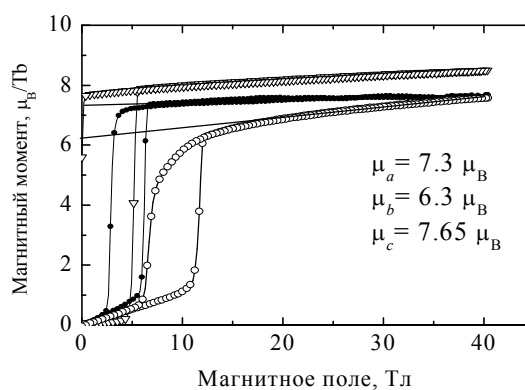


Рис. 2. Магнитный момент монокристалла Tb₃Co, измеренный вдоль *a*-, *b*- и *c*- осей при 4.2 К.

Хорошо видны метамагнитные переходы вдоль a - и b -осей кристалла, происходящие, соответственно, при $H_c \approx 4$ и 12 Тл. Эти переходы обусловлены большой величиной энергии магнитокристаллической анизотропии. Они указывают на антиферромагнитное упорядочение проекций магнитных моментов на a - и b -оси. Напротив, ферромагнитный порядок следует ожидать для проекций на c -ось.

На рис. 3 приведены, в качестве примера, три нейтронограммы ($\lambda=3.8 \text{ \AA}$) поликристаллического образца Tb_3Co , полученные в интервале температур 1.5-90 К. Видно, что нейтронограммы, соответствующие магнитоупорядоченному состоянию (1.5 и 74 К), отличаются от нейтронограммы в парамагнитном состоянии (90 К) как по набору отражений, так и по их интенсивностям. Нейтронограмма, полученная при 74 К, выделяется очень большой интенсивностью сателлита $(000)^+$, указывающего на несоизмеримую магнитную структуру. Этот сателлит существует (см. рис. 4) в интервале температур от $T_f=60 \text{ К}$ до T_N .

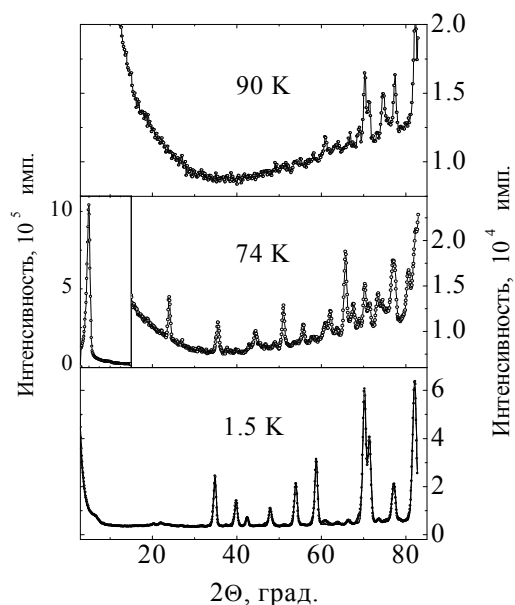


Рис.3. Нейтронограммы соединения Tb_3Co , полученные при 1.5, 74 и 90 К.

Из результатов нашего предварительного анализа следует, что несоизмеримая магнитная структура может быть описана волновым вектором $\mathbf{k}_1=2\pi/a(\tau, 0, 0)$. Величина τ зависит от температуры: τ уменьшается от 0.196 до 0.145 а затем растет до 0.163 при повышении температуры от T_f до T_N .

При температурах ниже T_f реализуется соизмеримая магнитная структура с вектором $\mathbf{k}_2=0$. Полученные нами значения координатных параметров для позиций $4c$ и $8d$, проекций магнитных моментов ионов Tb (атомы кобальта немагнитны) при 1.5 К представлены в Табл. 1. Они согласуются с нейтронографическими данными, полученными в [2]. Как видно из таблицы, соизмеримая магнитная структура является неколлинеарной и некомпланарной. Полный момент Tb ионов в позициях $4c$ и $8d$ составляет 9.5(2) и 8.9(2) μ_B , соответственно, т.е. близок к величине момента свободного иона. Проекции магнитных моментов на a - и b -оси образуют антиферромагнитный порядок, а на c -ось – ферромагнитный, что подтверждает предположения об устройстве моментов, сделанные выше на основе результатов магнитных измерений. В то же время имеет место сильное различие в величинах полного момента иона тербия, определенных двумя методами.

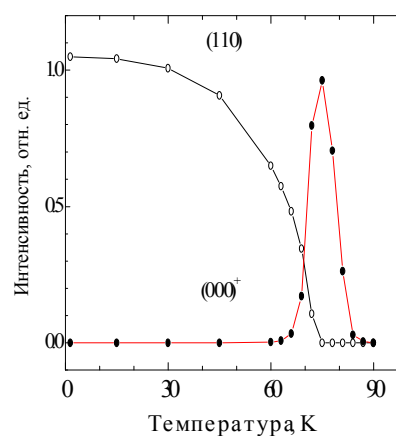


Рис. 4. Температурные зависимости интенсивностей (110) антиферромагнитного рефлекса (соизмеримая фаза) и $(000)^+$ сателлита (несоизмеримая фаза)

Табл.1 Координатные (x, y, z) параметры занятых ионами Tb позиций 4c и 8d, проекции (μ_a , μ_b , μ_c) магнитных моментов ионов тербия на a-, b- и c- оси в Tb₃Co при 1.5 К.

Ион	X	y	z	μ_a , μ_B	μ_b , μ_B	μ_c , μ_B
Tb1 (4c)	0.044	0.250	0.642	-3.652	0.000	8.772
Tb2 (4c)	0.955	0.750	0.357	-3.652	0.000	8.772
Tb3 (4c)	0.544	0.250	0.857	3.652	0.000	8.772
Tb4 (4c)	0.455	0.750	0.142	3.652	0.000	8.772
Tb1 (8d)	0.174	0.060	0.163	2.517	3.628	7.711
Tb2 (8d)	0.825	0.560	0.836	2.517	-3.628	7.711
Tb3 (8d)	0.674	0.439	0.336	-2.517	3.628	7.711
Tb4 (8d)	0.325	0.939	0.663	-2.517	-3.628	7.711
Tb5 (8d)	0.825	0.939	0.836	2.517	3.628	7.711
Tb6 (8d)	0.174	0.439	0.163	2.517	-3.628	7.711
Tb7 (8d)	0.325	0.560	0.663	-2.517	3.628	7.711
Tb8 (8d)	0.674	0.060	0.336	-2.517	-3.628	7.711

Как видно из рис. 4, антиферромагнитный рефлекс соизмеримой фазы и спутник несоизмеримой одновременно присутствуют на нейтронограммах при температурах 60-73 К. На этом основании можно считать, что есть область сосуществования двух магнитных фаз, и, следовательно, переход между ними есть фазовый переход первого рода.

Итак, в монокристалле Tb₃Co происходят метамагнитные переходы при наложении внешнего поля вдоль a- и b- осей. Критические поля переходов составляют $H_c = 4$ и 12 Тл, соответственно, для поля, ориентированного вдоль a- и b- осей, соответственно.

В Tb₃Co наблюдаются два спонтанных перехода. Один из них происходит при $T_N = 83$ К и соответствует переходу из парамагнитной фазы в магнитоупорядоченную с несоизмеримой магнитной структурой. Волновой вектор структуры $\mathbf{k}_1 = 2\pi/a(\tau, 0, 0)$, при этом τ изменяется от 0.145 до 0.196.

Второй спонтанный переход происходит при $T_f = 60$ К. Это переход из несоизмеримой магнитной фазы в фазу с соизмеримой некопланарной и неколлинеарной магнитной структурой, описываемой волновым вектором $\mathbf{k}_2 = 0$.

Работа была поддержана Швейцарским национальным научным фондом (грант SCOPES № 7 IP 65598), Российской программой фундаментальных исследований ОФН РАН «Нейтронные исследования структуры и фундаментальных свойств материи» (Проект № 14 УрО РАН/Договор № 11/05), проектом РФФИ-Урал № 04-02-96082.

Литература

- [1] К. Тейлор, М. Дарби. Физика редкоземельных соединений. Мир, М. (1974) с. 320.
 [2] D. Gignoux, R. Lemaire, J. Chaussy. Труды международной конференции по магнетизму МКМ-73, М. Наука. (1974) т. 5, с. 361.