

## ГИГАНТСКАЯ МАГНИТОСТРИКЦИЯ ТИТАНАТОВ ТЕРБИЯ.

И.В.Александров, Л.Г.Мамсурова, К.К.Лухов,  
Н.Г.Трусович, Л.Г.Щербакова

Обнаружена гигантская магнитострикция титанатов тербия  
 $Tb_2Ti_2O_7$  и  $Tb_2TiO_5$  в парамагнитном состоянии.

Показано, что качественное и количественное объяснение экспериментальных зависимостей возможно на основе модели кристаллического поля.

В настоящей работе приведены результаты измерений магнитострикции, магнитной восприимчивости и намагниченности поликристаллических титанатов тербия типа  $Tb_2Ti_2O_7$  и  $Tb_2TiO_5$ , имеющих различную кристаллическую структуру.

Дититанат тербия  $Tb_2Ti_2O_7$  представляет собой кубическое соединение со структурой типа пирохлора, элементарная ячейка которого содержит ионы  $Tb^{3+}$  в узлах тригональной симметрии. Соединение  $Tb_2TiO_5$  существует в двух полиморфных модификациях: низкотемпературной – ромбической структуры ( $\alpha$ -фаза) и высокотемпературной – гексагональной структуры ( $\beta$ -фаза). Особенности кристаллического строения этих соединений и методика приготовления образцов соосаждением с последующими высокотемпературным отжигом и закалкой даны в [1, 2].

На рис.1 приведены экспериментальные результаты измерения магнитострикции  $\Delta l/l$  в зависимости от магнитного поля  $H$  при  $T = 4,2$  К для  $Tb_2Ti_2O_7$ ,  $\alpha$ - и  $\beta$ -фаз  $Tb_2TiO_5$ . Оказалось, что внешнее магнитное поле вызывает достаточно сильную деформацию исследуемых соединений, достигающую в полях  $\sim 50$  кЭ значений  $\Delta l/l \approx 5 \cdot 10^{-4}$ , которые в литературе принято называть гигантскими [3, 4]. Наибольшую величину магнитострикции обнаруживает соединение  $Tb_2Ti_2O_7$  с кубической структурой, хотя концентрация магнитных ионов больше в соединении  $Tb_2TiO_5$ . Для сравнения (рис.1) приведена соответствующая кривая для магнитоупорядоченного образца чистого никеля. В области слабых полей ( $H < 10$  кЭ) магнитострикция, как и следовало ожидать, пропорциональна  $H^2$  [4].

Полученные значения магнитострикции титана тербия нельзя объяснить близостью перехода в магнитоупорядоченное состояние. Из рис.2, где приведены результаты измерения магнитной восприимчивости исследуемых соединений, видно, что при  $T = 4,2$  К, образцы находятся в парамагнитном состоянии. Соединения  $Tb_2Ti_2O_7$  и  $\beta$ - $Tb_2TiO_5$  остаются парамагнетиками вплоть до 1,7 К и лишь для  $\alpha$ - $Tb_2TiO_5$ , наблюдается аномалия на кривой  $X(T)$  при  $T = 2,8$  К, которая может свидетельствовать о переходе в упорядоченное состояние. Однако, величина магнитострикции  $\alpha$ - $Tb_2TiO_5$ , как уже отмечалось, меньше, чем для кубического  $Tb_2Ti_2O_7$ .

Согласно одноионной модели магнитострикции [5] можно предположить, что наблюдаемое явление обусловлено изменением равновесных положений анионов, составляющих ближайшее окружение магнитного иона и формирующих его кристаллическое поле.

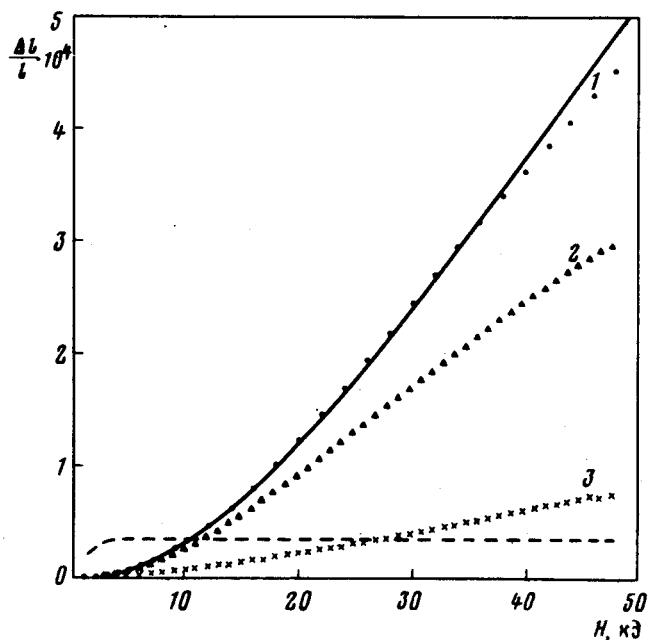


Рис.1. Зависимость магнитострикции от внешнего магнитного поля. Экспериментальные данные для  $Tb_2Ti_2O_7$  (●),  $\alpha$ - $Tb_2TiO_5$  (▲),  $\beta$ - $Tb_2TiO_5$  (×), Ni (пунктир). Сплошная кривая — расчет для  $Tb_2Ti_2O_7$

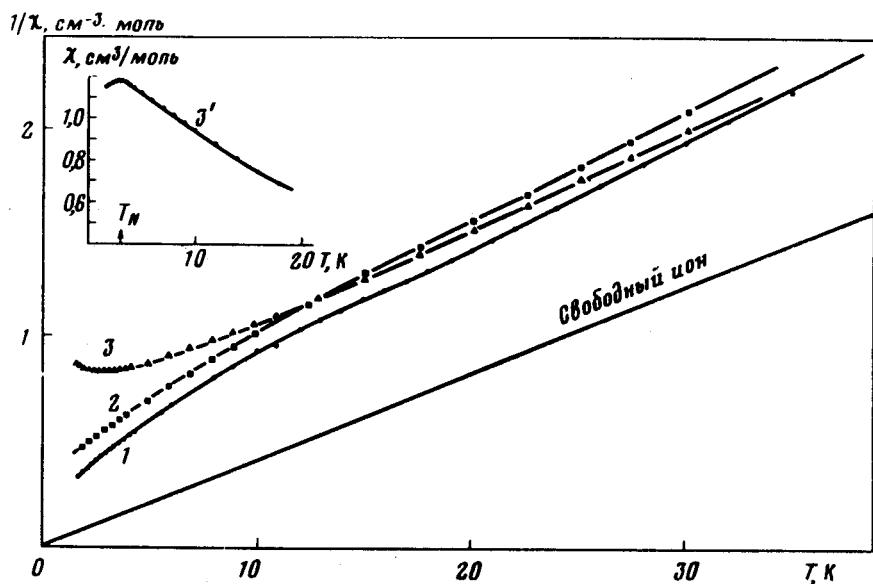


Рис.2. Температурные зависимости  $\chi^{-1}$  для  $Tb_2Ti_2O_7$  (1),  $\beta$ - $Tb_2TiO_5$  (2),  $\alpha$ - $Tb_2TiO_5$  (3). Кривая 3' — зависимость восприимчивости от температуры для  $\alpha$ - $Tb_2TiO_5$

Отсутствие прямых спектроскопических данных о параметрах кристаллических полей в исследуемых соединениях затрудняет количественный анализ полученных результатов. Некоторая информация о положениях уровней энергии иона  $Tb^{3+}$  была получена нами из низкотемпературной части кривой  $X(1/T)$  и полевой зависимости магнитного момента кубического соединения  $Tb_2Ti_2O_7$ .

Действительно, экспериментальные кривые  $M(H)$ , приведенные на рис.3 точками, не согласуются с расчетными, если исходить из обычных представлений о двухsingletном основном состоянии иона  $Tb^{3+}$  с максимальной проекцией момента  $J_z = \pm 6$  и небольшой примесью состояния  $|0\rangle$ , как это наблюдается для большинства других соединений, содержащих ионы  $Tb^{3+}$  в кристаллических полях тригональной симметрии [7, 6].

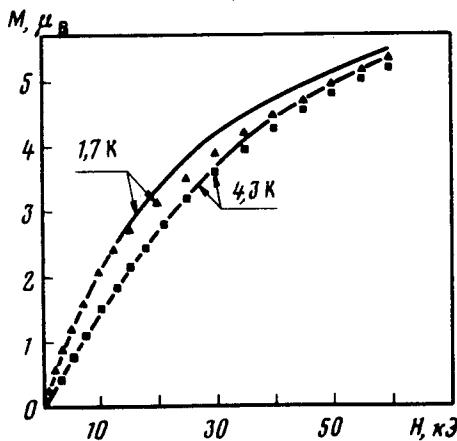


Рис.3. Зависимость намагниченности от магнитного поля дититаната  $Tb_2Ti_2O_7$  при температурах 1,7 и 4,3 К. ▲, ■ — эксперимент, сплошные кривые — теория

Общий вид кривых намагниченности более соответствует дублетному основному состоянию, причем, по крайней мере, один из возбужденных уровней должен находиться при этом достаточно низко. В области самых низких температур ( $\sim 2$  К), где с большей вероятностью можно полагать, что заселен лишь нижний дублет, зависимость  $X(1/T)$  имеет вид

$$X = \frac{C}{T} + \alpha, \quad (1)$$

где  $C = (3,9 \pm 0,1)\mu_B^2 \cdot \text{град}$  и  $\alpha = 1,77 \mu_B^2$  (в расчете на ион  $Tb^{3+}$ ). Величина  $C$  позволяет конкретизировать структуру нижнего дублета, а значение  $\alpha$  дает соотношение между величинами энергии возбужденных состояний ( $E_n$ ). Недостающие соотношения для  $E_n$  получаются из аналогичного анализа той части кривой восприимчивости, где она начинает отличаться от вида (1) вследствие заселения первого возбужденного

состояния. По нашим оценкам ближайший возбужденный уровень должен находиться в области  $15 \pm 20$  К.

Исходя из полученной указанным способом картины энергетических уровней, проведены в рамках модели кристаллического поля оценочные расчеты полевых зависимостей намагниченности и магнитострикции, оказавшиеся в хорошем согласии с экспериментальными кривыми (рис.1 и 3). Это показывает, что все измеренные магнитные характеристики и, в том числе, гигантские величины магнитострикции определяются той системой энергетических уровней иона  $Tb^{3+}$ , которая существует в кристаллических полях исследуемых соединений. В частности наличие близлежащего первого возбужденного уровня во многом предопределяет особенности всех магнитных свойств.

Следует отметить, что анализ на основе лишь низкотемпературной части кривой восприимчивости не дает однозначного определения системы квантовых состояний. Мы надеемся, что обработка экспериментальных данных по измерению восприимчивости в широком температурном интервале, позволит найти уровни энергии однозначным образом, произвести строгий расчет зависимости  $M(H)$  и  $\Delta l/l(H)$  с учетом всех вышеприведенных состояний и, таким образом, устранить расхождение между теоретическими и экспериментальными кривыми в области высоких полей.

Авторы благодарят З.А.Казея за помощь при измерении магнитострикции; К.Н.Гусеву и Г.Е.Суханову за приготовление образцов.

Институт химической физики  
Академии наук СССР

Поступила в редакцию  
22 мая 1981 г.

## Литература

- [1] Л.Г.Щербакова, Л.Г.Мамсузова, Г.Е.Суханова. Успехи химии, 48, 423, 1979.
- [2] Л.Г.Щербакова, В.Б.Глушкова, К.Н.Гусева, Л.Г.Мамсузова, Л.В.Сафонова, Г.Е.Суханова. Изв. АН СССР, сер. Неорганические материалы, 16, 1445, 1980.
- [3] К.П.Белов, В.И.Соколов, Тхан Дых Хиен. ФТГ, 12, 3706, 1968.
- [4] С.А.Альтшулер, В.И.Кротов, Б.З.Малкин. Письма в ЖЭТФ, 32, 232, 1980.
- [5] К.П.Белов. Вестник МГУ, №5, 23, 1967.
- [6] А.Абрагам, Б.Блинни. Электронный парамагнитный резонанс переходных ионов. М., изд. Мир, 2, 1973, стр. 180.
- [7] R.Bidaux, A.Gavignet-Tillard, J.Hammann. Le J. de Phys., 34, 19, 1973.