

Письма в ЖЭТФ, том 16, вып. 8, стр. 448 — 451.

20 октября 1972 г.

**МАГНИТНЫЕ И МАГНИТОСТРИКЦИОННЫЕ СВОЙСТВА
СОЕДИНЕНИЯ Tm_6Fe_{23}**

*К. П. Белов, С. А. Никитин, А. М. Бислиев, Е. М. Савицкий¹⁾,
В. Ф. Терехова¹⁾, В. Е. Колесниченко¹⁾*

В настоящее время внимание многих исследователей привлекает изучение магнитных материалов, являющихся соединениями редкоземельных металлов с $3d$ переходными металлами. Были найдены соединения типа RCo_5 , обладающие рекордными значениями магнитной энергии [1, 2], в соединениях редкоземельных металлов с железом типа RFe_2 обнаружена гигантская магнитострикция при комнатных температурах [3, 4].

¹⁾ Сотрудники института металлургии им. А. Л. Байкова АН СССР.

К этому же классу магнитных материалов принадлежат также соединения типа R_6Fe_{23} . Однако в литературе имеются неполные данные о магнитных свойствах этих соединений [5 – 7]. В настоящем сообщении мы приводим результаты изучения магнитных и магнитострикционных свойств соединения Tm_6Fe_{23} , сведения о которых в литературе отсутствуют.

Соединение Tm_6Fe_{23} было обнаружено при изучении диаграмм состояния тулий – железо [8]. Образцы исследованного соединения были выплавлены в дуговой печи на медном водоохлаждаемом поду в атмосфере гелия. Гомогенизирующий отжиг в вакууме проводился при 850°C в течение 300 час. Рентгеновский и металлографический анализы установили, что полученные образцы однофазны и имеют кубическую решетку.

Измерения намагниченности в интервале $4,2 \div 80^\circ\text{K}$ проводились в магнитном поле сверхпроводящего соленоида до 53 кэ на вибрационном магнитометре и в интервале $80 - 700^\circ\text{K}$ в поле электромагнита до 15 кэ .

Коэрцитивная сила измерялась в обычном соленоиде при максимальном намагничивающем поле 1700 э . Магнитострикция измерялась тензодатчиками. Точке Кюри $\Theta = 449^\circ\text{K}$ и самопроизвольная намагниченность σ_s вблизи Θ были найдены термодинамическим методом с помощью построения кривых $H/\sigma = f(\sigma^2)$.

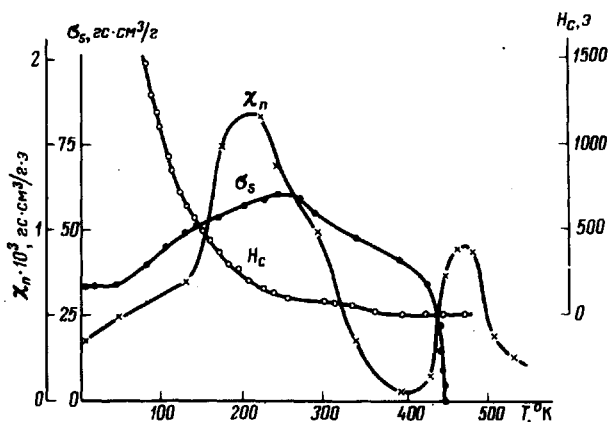


Рис. 1. Температурная зависимость удельной самопроизвольной намагниченности насыщения σ_s , коэрцитивной силы H_c и восприимчивости в сильном поле X_n для соединения Tm_6Fe_{23}

На рис. 1 представлена температурная зависимость удельной самопроизвольной намагниченности σ_s , восприимчивости в сильном поле X_n ($\sim 11 \text{ кэ}$) и коэрцитивной силы H_c ¹⁾. Намагниченность σ_s в низких температурах сильно уменьшается. Этот эффект можно объяснить ферромагнитной структурой этого соединения.

Как следует из нейтронографических данных, магнитная структура Ho_6Fe_{23} может быть представлена состоящей из двух подрешеток атомов Ho и Fe [7], магнитные моменты которых направлены противоположно друг другу. Наличие аналогичной структуры можно предположить и в соединении Tm_6Fe_{23} .

1) Остаточная намагниченность и коэрцитивная сила сильно уменьшаются при нагревании вблизи точки Кюри и становятся равными нулю при $T \geq 470^\circ\text{K}$.

Мы измерили намагниченность при $4,2^\circ\text{K}$ в полях до 53 кэ и нашли, что намагниченность абсолютного насыщения, найденная экстраполяцией к $H = 0$ из области полей $30 \div 53 \text{ кэ}$, составляет $33,0 \text{ гс} \cdot \text{см}^3/\text{г}$.

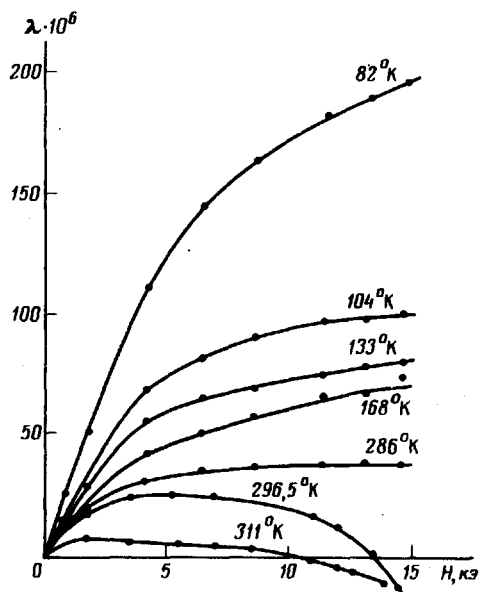


Рис. 2. Магнитострикция λ в зависимости от магнитного поля при различных температурах для соединения $\text{Tm}_6\text{Fe}_{23}$

Отсюда магнитный момент μ_0 на молекулу соединения равняется $13,65 \mu_B$. С другой стороны наши измерения намагниченности абсолютного насыщения соединения $\text{Lu}_6\text{Fe}_{23}$, полученного тем же методом, что и $\text{Tm}_6\text{Fe}_{23}$ дали значения магнитного момента на молекулу $\mu_0 = 23 \mu_{\text{Fe}} = 44,6 \mu_B$ и магнитный момент на ион железа $\mu_{\text{Fe}} = 1,94 \mu_B$.

Помогая, что магнитный момент иона железа существенно не меняется в ряду соединений R_6Fe_{23} , что в общем выполняется в ряду однотипных соединений редкоземельных металлов с железом [9], мы получили магнитный момент, приходящийся на ион тулия $\mu_R = \frac{1}{6}(23\mu_{\text{Fe}} - \mu) =$

$= 5,15 \mu_B$, т. е. значение заметно ниже значения для свободного трехвалентного иона ($7 \mu_B$). Заниженное значение μ_R можно объяснить сильными эффектами кристаллического поля вследствие наличия орбитального момента у иона тулия. Заметим, что кривая намагниченности не испытывает насыщения даже в полях $30 \div 50 \text{ кэ}$ при $4,2^\circ\text{K}$, причем для этого интервала полей составляет величину $0,275 \cdot 10^{-3} \text{ гс} \cdot \text{см}^3/\text{г}$, петля гистерезиса наблюдается только до 20 кэ .

Уменьшение σ_s в низких температурах (рис. 1) можно объяснить быстрым упорядочением подрешетки тулия при понижении температуры и ориентацией магнитного момента подрешетки тулия противоположно магнитному моменту подрешетки железа.

Такой вывод согласуется с другими данными. Козрцитивная сила (рис. 1) и магнитострикция (рис. 2) сильно возрастают при понижении температуры ниже комнатных температур из-за упорядочения магнитных моментов ионов тулия. Одноионные константы анизотропии и магнитострикции тулия должны давать наибольший вклад в анизотропию и магнитострикцию, а следовательно, и козрцитивную силу. †

Максимум на кривой восприимчивости в сильном поле при $\Theta_H = 200^\circ\text{K}$ можно объяснить, по аналогии с редкоземельными ферритами-гранатами [10], тем, что здесь имеет место наиболее резкое разрушение дальнего магнитного порядка в подрешетке тулия (низкотемпературная точка Θ_H), вследствие чего должен наблюдаться максимум восприимчивости парапроцесса, как и в точке Кюри. Из анализа полученных данных следует, что интенсивное магнитное упорядочение в подрешетке тулия происходит при температурах ниже 200°K . Отсюда можно сделать вывод, что обменное взаимодействие подрешетки тулия с подрешеткой железа значительно меньше обменного взаимодействия внутри подрешетки железа. Обменное взаимодействие в подрешетке железа в соединении $\text{Lu}_6\text{Fe}_{23}$ (магнитный момент Lu равен нулю) определяет довольно высокое значение температуры Кюри $\Theta = 494^\circ\text{K}$.

Московский
государственный университет
им. М.В.Ломоносова

Поступила в редакцию
21 августа 1972 г.

Литература

- [1] Dilip Das. IEEE Trans. Magnet., MAG-5 (3), 214, 1969.
- [2] А.В.Дерягин, Я.С.Шур, Е.В.Шербакова. Тезисы Всесоюзной конференции по магнетизму. Красноярск, ИФСО АН СССР, 1971, стр. 56.
- [3] N. Koon, A. Schindler, F. Carter. Phys. Lett., 37A, 413, 1971.
- [4] A. Clark, H. Belson. Conference on Magnetism and Magnetic Materials, Chicago, Illinois, Nov. 1971. †
- [5] K. Buschow, A. van der Goot. Phys. stat. Sol., 35, 515, 1969.
- [6] D. Givord, F. Givord, R. Lemaire, J. de Phys., 32, 668, 1971.
- [7] J. Moreau, C. Michel, M. Simmons, T. O'Keefe, W. James. J. de Phys., 32, 760, 1971.
- [8] В.Е.Колесниченко, В.Ф.Терехова, Е.М.Савицкий. ЖЭНХ, №6, 1972.
- [9] E. Buzzo. Z. Anew. Phys., 32, 127, 1971.
- [10] К.П.Белов, С.А.Никитин. Phys. Stat. Sol., 12, 453, 1965; Изв. АН СССР, 34, 957, 1970.