

ПАРАМЕТРЫ МОЛЕКУЛЯРНОГО ПОЛЯ В ИНТЕРМЕТАЛЛИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЯХ ГАДОЛИНИЯ С 3d-ЭЛЕМЕНТАМИ

О.И.Каримов, М. К.Салахитдинова

В работе даются результаты исследования влияния 3d-металлов (Fe,Co) на магнитные свойства гадолиния, так как 3d-электроны вносят вклад в изменении природы обменного взаимодействия в этих соединениях.

Редкоземельные металлы (РЗМ) и их многочисленные соединения вызывают большой интерес в связи с тем, что на их основе можно создать новые материалы для техники, в частности материалы с особыми физическими свойствами. Кроме того, изучение магнитных свойств редкоземельных металлов представляет чисто научный характер, поскольку природа обменного взаимодействия между 4f- и 3d-электронами не ясна до настоящего времени. Для объяснения необычных и зачастую, уникальных эффектов, связанных с наличием в исследуемых материалах 4f- уровней, были созданы и развиваются новые теоретические модели.

Известно, что магнитные характеристики РЗМ и их соединений непосредственно отражают особенности заполнения 4f-оболочки, их трансформации с изменением состава, а также степень локализованности 4f-электронов. Имеющая в настоящее время информация об электронном строении и магнитных свойствах РЗМ и их соединений в области высоких температур, при которых они находятся как в твердом, так и жидком состояниях крайне ограничена.

Целью данной работы является исследования влияния 3d-металлов (Fe,Co) на магнитные свойства гадолиния, так как 3d-электроны вносят вклад в изменении природы обменного взаимодействия в этих соединениях, которая характеризуется параметрами молекулярного поля, перед нами ставилась задача определить следующее:

- 1) степень упорядоченности магнитных моментов 4f- и 3d-электронов в этих соединениях;
- 2) проверка применимости современных моделей магнетизма для интерпретации полученных экспериментальных результатов;
- 3) Анализ влияния 3d-элементов на магнитные свойства редкоземельного металла (Gd).

Температурная зависимость магнитной восприимчивости $[\chi(T)]$ (рис.1) Gd-(Fe,Co) и возможных соединений между ними были изучены в широком интервале температур [1].

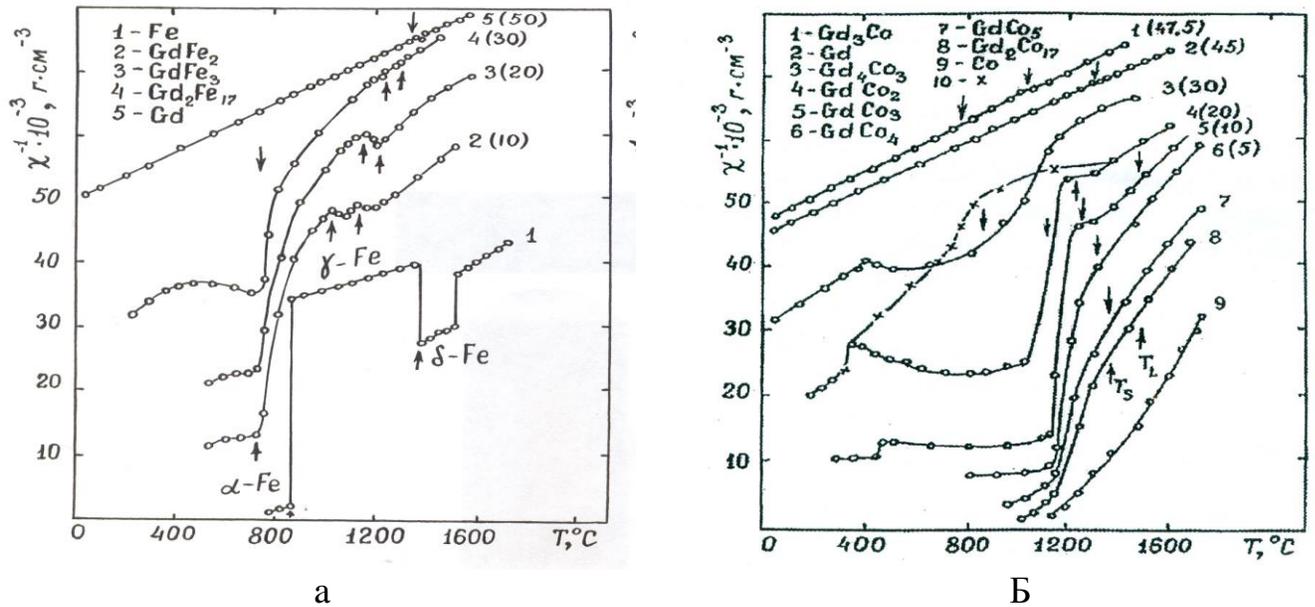


Рис. 1. Температурная зависимость $\chi^{-1}(T)$ соединений: а) системы Gd-Fe и б) системы Gd-Co.

Анализ экспериментальных результатов показывает, что зависимость $\chi^{-1}(T)$ для чистого Gd и Co подчиняется закону Кюри-Вейсса как в твердом, так и жидком состояниях.

$$\chi^{-1}(T) = C / (T - \theta_p) \quad (1)$$

а для соединений этот закон выполняется только для их жидкого состояния. Изменение магнитной восприимчивости Fe с температурой имеет сложный характер. Фазовые превращения, происходящие в нем при 910 °С (о.ц.к.-г.ц.к.), 1395 °С (г.ц.к.-о.ц.к) и 1539 °С (плавление) вызывают скачкообразное изменение магнитной восприимчивости. Ход зависимости $\chi^{-1}(T)$ для железа и слабая аномалия при 1650 °С в жидком состоянии согласуются с результатами работы [2].

Зависимость $\chi^{-1}(T)$ соединений GdFe₂, GdFe₃, Gd₂Fe₁₇, Gd₂Co₁₇, GdCo₅, GdCo₄ в исследуемых температурных интервалах увеличивается скачкообразно и для исследованных соединений описывается законом Нееля:

$$\frac{1}{\chi} = \frac{T}{C} + \frac{1}{\chi_0} - \frac{\sigma}{(T - \theta_p)} \quad (2)$$

Коэффициенты формулы Нееля C, χ , σ , θ характеризующие обменные взаимодействия между подрешетками соединений, были вычислены для соединений системы Gd-Fe из экспериментальной зависимости $\chi^{-1}(T)$ этих соединений с использованием выражений:

$$\frac{1}{\chi_0} = n(2\lambda\mu - \lambda^2\alpha - \mu^2\beta)$$

$$\sigma = n^2 C \lambda \mu [\lambda(1+\alpha) - \mu(1+\beta)]^2 \quad (3)$$

$$\theta = n C \lambda \mu (2 + \alpha + \beta)$$

где λ и μ - концентрация трехвалентного иона гадолиния и 3d-ионов, n , $n\alpha$, $n\beta$ - параметры молекулярного поля в теории Нееля (см. таблицу).

В процессе плавления этих соединений зависимость $\chi^{-1}(T)$ не претерпевает существенных изменений (как у чистого Gd), что свидетельствует об определяющей роли 4f- электронов среди электронов недостроенных 4f- и 3d- оболочек ионов компонентов.

Анализ зависимости магнитной восприимчивости соединений от концентрации Fe, Co показал, что с увеличением стехиометрического состава 3d-элемента в изученных соединениях их магнитная восприимчивость увеличивается незначительно.

Таблица
Параметры молекулярного поля соединений системы Gd-(Fe,Co)

Соединения	θ_a, K Твер. сост.	$C \cdot 10^3$ $K \cdot g^{-1} \cdot cm^3$	χ_0^{-1} $g \cdot cm^{-3}$	$\theta_s^2 / C(T_c - \theta)$ $g \cdot cm^{-3}$	σ $K \cdot g \cdot cm^{-2}$	n $g \cdot cm^{-3}$	$n\alpha$ $g \cdot cm^{-3}$	$n\beta$ $g \cdot cm^{-3}$	T_c, K	θ, K
GdFe ₂	72	24.00	0.003	0.04	0.39	0.382	-0.378	-0.113	757	705
GdFe ₃	145	36.3	0.004	0.035	1.68	0.419	0.133	0.23	753	710
Gd ₂ Fe ₁₂	327	48.8	0.016	0.034	0.75	0.44	0.128	0.168	752	730
Gd ₂ Co ₁₂	315	92.7	0.034	0.047	10.69	0.744	0.338	0.452	1209	1004
GdCo ₅	267	34.5	0.008	0.037	15.16	0.1	0.093	0.156	1008	987
GdCo ₄	194	36.4	0.0053	0.39	4.86	0.0518	0.27	0.516	1248	1150

Анализ таблицы показывает, что между величинами, n , $n\alpha$, $n\beta$ для всех изученных соединений выполняется неравенство: $n > n\beta > n\alpha$. Это свидетельствует о том, что при возникновении ферромагнитного упорядочения магнитных моментов, решающую роль играет косвенное обменное взаимодействие 3d-электронов в изученных соединениях.

ЛИТЕРАТУРА

1. O.K.Kuvandikov, H.O.Shakarov, D.A.Saifullaeva, M.K.Salakhitdinova "Investigations of magnetic properties of compounds of rare-earth metals with metals of iron groups in the range of solid-liquid phase transition", The Physics of Metals and Metallography, vol.93, suppl.1, 2002, pp. S48-S53.
2. Белов К.П. Магнитные превращения. М.: Физматгиз, 1959.
3. Neel L., Ann.de Phys. Paris, 3,137 (1948).