

ПАРАМАГНИТНАЯ ТЕМПЕРАТУРА КЮРИ И КОСВЕННЫЙ ОБМЕН В СИСТЕМЕ Dy –ЭГЖ (ЭГЖ=Fe,Co).

Х. О. Шакаров, З. М. Шодиев, Б.У. Амонов, Ф. У. Хужаяров (магистр)

Самаркандский госуниверситет, Самарканд. quvandikov@rambler.ru

В данной статье были изучены парамагнитная температура Кюри и косвенный обмен в системе dy –эгж (эгж=fe,co).

В редкоземельных металлах (РЗМ) и в соединениях на их основе приобретает особенно важное значение вопрос о происхождении атомного магнитного порядка. Такой порядок обусловлены обменным взаимодействием локализованных в узлах кристаллической решётки 4f-электронов через электроны проводимости, называемое косвенным обменным взаимодействием Рудермана–Киттеля–Касуя и Иосиды (РККИ)[1].

Парамагнитная температура Кюри θ_p связана с энергетическим параметром $A = k_B \theta_p$, характеризующим энергию такого взаимодействия. Поэтому, информация о парамагнитной температуре Кюри РЗМ и соединений на их основе необходима для развития теоретических представлений о природе обменных взаимодействий в этих объектах.

Цель настоящей работы – изучение влияния металлов железа и кобальта на косвенное обменное взаимодействие в тяжелых РЗМ и проверка применимости теории РККИ для интерметаллидов в бинарных системах Dy–(Fe,Co) с использованием их экспериментальных значений θ_p . Значения θ_p ранее была определена по экспериментальной зависимости $\chi^{-1}(T)$ этих образцов для твердого и жидкого состояния [2,3].

В рамках теории РККИ, с использованием представления молекулярного поля, для объяснения экспериментальных значений θ_p РЗМ получено следующее выражение [1,4]:

$$\theta_p = \frac{3\pi n^2}{k_B \Omega^2 E_F} A_{sf}^2(0) (g_J - 1)^2 J(J+1) \sum_{n,m} F\left(2\vec{k}_F \left| \vec{R}_n - \vec{R}_m \right. \right), \quad (1)$$

где n -число электронов проводимости на атом, Ω -атомный объем, $A_{sf}(0)$ -интеграл s-f-обменного взаимодействия, не зависящий от \vec{k}_F . E_F и \vec{k}_F -энергия и волновой вектор на поверхности Ферми, $|\vec{R}_n - \vec{R}_m|$ -расстояние между магнитными ионами, находящимися в узлах кристаллической решётки n и m .

В рамках теории РККИ для вычисления интеграла (параметра) косвенного обменного взаимодействия получено следующее выражение [1,4]:

$$A = \frac{9\pi n^2}{E_F \Omega^2} A_{sf}^2(0) \sum_{n \neq m} F\left(2\vec{k}_F \left| \vec{R}_n - \vec{R}_m \right. \right). \quad (2)$$

Учитывая этого, для значения θ_p чистых РЗМ, из (1) находим:

$$\theta_p = \frac{A}{3k_B} G. \quad (3)$$

Здесь $G = (g_J - 1)^2 J(J+1)$ -Фактор де Жена для чистого Dy. Значения G для изучаемых соединений можно вычислить по правилу аддитивности:

$$G = (1-x)G_{Dy} + xG_{ЭГЖ}, \quad (4)$$

где x -содержание ЭГЖ в атомных долях; G_{Dy} и $G_{ЭГЖ}$ -соответственно, факторы де Жена для Dy и ЭГЖ.

Соединение	$A/k_B, 10^2 \text{K}$					
	f-s- связь		d-s- связь		f-d- связь	
	Твердое состояние	Жидкое состояние	Твердое состояние	Жидкое состояние	Твердое состояние	Жидкое состояние
Dy	0,678	0,762	-	-	-	-
Dy Fe ₃	12,706	5,472	3,421	1,477	2,700	1,163
Dy ₆ Fe ₂₃	15,959	10,905	3,372	2,304	2,784	1,902
Dy ₂ Fe ₁₇	35,496	30,373	3,379	2,885	3,079	2,634
$\delta - Fe$	-	-	3,771	1,44	-	-
Dy ₂ Co ₇	22.760	15.320	16.727	11.259	9.691	6.489
Dy Co _{5.2}	31.910	22.703	15.774	11.222	10.556	7.510

Dy ₂ Co ₁₇	49.331	46.508	14.907	14.054	11.448	10.793
Co	-	-	15.36	16.887	-	-

Мы попытались полуэмпирически оценить значения параметров A/k_B различных возможных типов обменных взаимодействий - между ионами Dy-Dy (f-s), ЭГЖ-ЭГЖ (d-s) и Dy-ЭГЖ (f-d), соответственно, по следующим выражениями: $\frac{A}{k_B} = \frac{3\theta_p}{(1-x)G_{Dy}}$, $\frac{A}{k_B} = \frac{3\theta_p}{xG_{ЭГЖ}}$ и $\frac{A}{k_B} = \frac{3\theta_p}{(1-x)G_{Dy} + xG_{ЭГЖ}}$.

Результаты вычислений приведены в таблице 1. Анализ таблицы показывает, что с увеличением концентрации Fe (или Co) f-s и f-d взаимодействия усиливаются, а d-s взаимодействия почти не изменяются как в твердом, так и в жидком состояниях. f-s – взаимодействие, по сравнению с чистым диспрозием, в его соединениях увеличивается на порядок. Это свидетельствует о том, что взаимодействия 4f–электронов через электронов проводимости, т.е. взаимодействие типа РККИ играет основную роль в природе происхождения магнетизма (магнитный порядок) изученных соединений.

Вывод: Полуэмпирической оценкой значения параметра косвенного обменного взаимодействия в изучаемых соединениях Dy с Fe и Co установлено, что в происхождение в них атомного магнитного порядка, как у чистого диспрозия, играет основную роль взаимодействия типа РККИ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вонсовский С. В. Магнетизм.- М.:Наука, 1971.-1032 с.
2. Кувондигов О. К., Шакаров Х.О., Шодиев З.М. Изучение магнитных свойств интерметаллидов в системе Dy-Fe в твердом и жидком состояниях. Металлофизика и новейшие технологии. 2005.– т.27.– №3.–с.419-425.
3. Кувондигов О. К., Шакаров Х.О., Шодиев З.М. Изучение магнитных свойств интерметаллидов в системе Dy-Co в твердом и жидком

состояниях//Металлофизика и новейшие технологии. НАН Украины. – 2007. т.29.– №11.– сс.1459-1466.

4. Тейлор К. Интерметаллические соединения редкоземельных металлов.- М.: Мир. 1974- 224 с.