

Рис. 2. Предельный цикл системы (1) с параметрами: а — $q=0,05$, $p=1,65$, $\omega=1$;
 б — $q=3$, $\omega=0,4$, $p_1=3,1$, $p_2=3,2$, $p_3=3,3$

ЛИТЕРАТУРА

1. Романовский Ю. М., Степанова Н. В., Чернавский Д. С. Что такое математическая биофизика. М., 1971.
2. Колебательные процессы в химических и биологических системах, т. 2. Пущино-на-Оке, 1971.
3. Андронов А. А., Витт А. А., Хайкин С. Э. Теория колебаний. М., 1959.
4. Моисеев Н. Н. Асимптотические методы нелинейной механики. М., 1969.

Поступила в редакцию
 19.6 1973 г.

Кафедра общей физики
 для мехмата

А. Ф. БАША, В. И. ЧЕЧЕРНИКОВ

МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА ИНТЕРМЕТАЛЛИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ МЕДИ С ЛАНТАНОИДАМИ

1. Магнитные свойства интерметаллических соединений редкоземельных металлов с элементами первой группы периодической системы изучены очень мало [1, 2, 3]. Это связано прежде всего с трудностями их получения. Между тем большинство редкоземельных металлов образуют с элементами этой группы, и в частности с медью, ряд интерметаллических соединений разного стехиометрического состава. Такое изменение стехиометрии при изменении кристаллической структуры должно оказывать влияние прежде всего на магнитные свойства этих соединений. Кроме того, меняя стехиометрию соединений, можно изменять число свободных электронов, что открывает возможности для выяснения роли этих электронов в механизме обменного взаимодействия. В связи с этим представляет интерес исследовать магнитные свойства, электросопротивление и ядерный магнитный резонанс в этих соединениях.

В настоящем сообщении будут изложены результаты исследования только магнитных свойств соединений редкоземельных металлов с медью. Нами были синтезированы соединения Y, La, Ce, Nd, Gd, Tb и Dy с медью состава 1:1, 1:2 и 1:5.

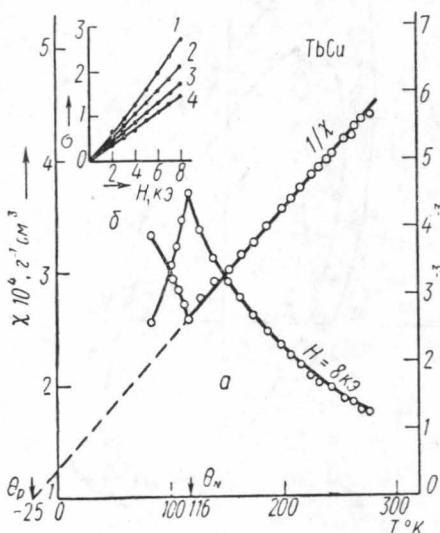


Рис. 1. *a* — зависимость χ и $1/\chi$ от T для TbCu; *б* — изотермы намагниченности для TbCu: 1 — 110, 2 — 83, 3 — 210, 4 — 300°

Образцы для исследования готовились в дуговой печи в атмосфере спектрально чистого аргона. Для получения рентгенограмм использовалось медное излучение с никелевым фильтром. Время экспозиции 2—3 часа. Кристаллографические результаты измерений всех синтезированных соединений хорошо согласуются с литературными данными [4, 5, 6, 7].

2. Магнитные свойства полученных соединений изучались при помощи маятниковых весов [8] в интервале температур от 77 до 800°K и при различной напряженности магнитного поля (2—8 кэ). Результаты исследования показали, что все соединения Y и La с медью являются температурнонезависимыми парамагнетиками, а среди соединений состава RCu (*R*—редкоземельный металл) соединений TbCu является антиферромагнетиком, у которого на кривой зависимости $\chi(T)$ при 116°K имеется максимум (рис. 1). Это согласуется с результатами нейтронографических исследований [9], согласно которым это соединение ниже этой температуры обладает сложной антиферромагнитной структурой. У остальных соединений этого состава магнитная восприимчивость в исследуемом интервале температур следует закону Кюри — Вейсса, при этом у всех соединений $\theta_p < 0$ (см. табл.).

Соединения	Структурный тип	Периоды решетки, Å			θ_p °K	$\mu_{B_{\text{эфф}}}^{\text{ЭФФ}}$	$\mu_{B_{\text{эфф}}}^{\text{ЭФФ}} = 9 [I(I-1)]^{1/2} \mu_B$
		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>			
YCu	CsCl	3,48	—	—	—	—	—
NdCu	FeB	7,22	4,27	6,26	—50	3,88	3,62
GdCu	CsCl	3,51	—	—	—30	7,95	7,94
TbCu	»	3,48	—	—	—25	9,72	9,72
DyCu	»	3,46	—	—	—8	10,67	10,63
YCu ₂	CeCu ₂	4,31	6,80	7,32	—	—	—
NdCu ₂	»	4,39	7,06	7,48	—24	3,62	3,62
GdCu ₂	»	4,32	6,86	7,33	—12	7,98	7,94
TbCu ₂	»	4,31	6,83	7,32	—12	9,79	9,72
DyCu ₂	»	4,30	6,79	7,30	—4	10,64	10,63
YCu ₅	CaCu ₅	4,99	—	4,11	—	—	—
LaCu ₅	»	5,18	—	4,11	—	—	—
CeCu ₅	»	5,15	—	4,11	0	2,66	2,56
NdCu ₅	»	5,11	—	4,11	0	3,62	3,62
GdCu ₅	»	5,04	—	4,11	—6	7,97	7,94
TbCu ₅	»	5,03	—	4,09	—3	9,8	9,72
DyCu ₅	AuBe ₅	7,03	—	—	—2	10,7	10,63

дованном интервале температур следует закону Кюри — Вейсса, при этом у всех соединений $\theta_p < 0$ (см. табл.).

Исключением является соединение DyCu, у которого в области низких температур наблюдается отклонение от этого закона. Отклонение от этого закона имеется также у соединений GdCu, TbCu₂, GdCu₂ (рис. 2 и 3). Возможно, что эти отклонения связаны или с начинающимся антиферромагнитным упорядочением, или с влиянием внутрискристаллического поля, или с обоими этими эффектами. У остальных соединений

RCu_2 и RCu_5 выполняется закон Кюри—Вейса, причем у всех соединений $\theta_p < 0$ в отличие от положительных значений θ_p для тех же редкоземельных металлов. Это указывает на преобладание в соединениях антиферромагнитных взаимодействий, которые убывают от низших соединений к высшим.

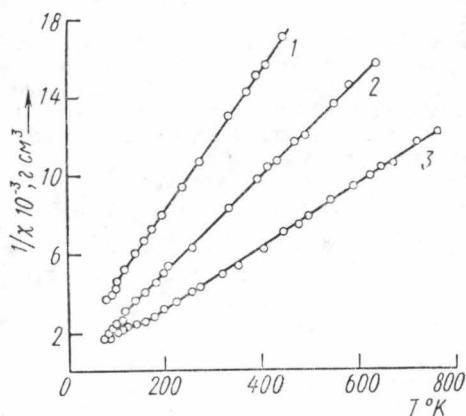


Рис. 2. Зависимость $1/\chi$ от T : 1 — для GdCu ; 2 — TbCu_2 ; 3 — DyCu

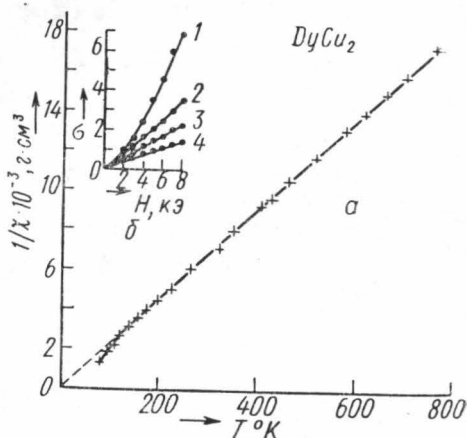


Рис. 3. а — зависимость $1/\chi$ от T для DyCu_2 ; б — изотермы намагниченности для DyCu_2 : 1 — 83, 2 — 120, 3 — 190, 4 — 300°

Существенно также то, что эффективный момент, приходящийся на атом соединения, соответствует модели трехзарядного иона редкоземельного металла.

Таким образом, в интерметаллических соединениях редкоземельных металлов с медью от стехиометрии и типа кристаллической структуры существенно зависит величина антиферромагнитного взаимодействия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Sherwood R. C., Williams H. J., Wernick J. H. J. Appl. Phys., 35, 1094, 1964.
2. Walline R. E., Wallace W. E. J. chem. Phys., 42, 604, 1965.
3. Buchow K. H., Van Diepen A. M., Dewrjn H. W. J. Appl. Phys., 41, 4609, 1970.
4. Chao C. C., Luo H. L., Duwez P. J. Appl. Phys., 35, 257, 1964.
5. Storm A. P., Benson C. E. Acta Cryst., 16, 701, 1963.
6. Dwigit A. E. Trans ASM, 53, 497, 1961.
7. Buschow K. H., Van der Goot A. S., Birkham F. Less commen Metals, 19, 433, 1969.
8. Чечерников В. И. Магнитные измерения. М., 1969.
9. Cable J. W., Koehler W. C., Nollan E. O. Bull. Am. Phys. Soc., 9, 213, 1964.

Поступила в редакцию
5.6 1973 г.

Кафедра
магнетизма

УДК 538.3:530.145

Ю. В. ГРАЦ, Ю. Г. ПАВЛЕНКО

ПРИБЛИЖЕНИЕ ЭКВИВАЛЕНТНЫХ ФОТОНОВ ДЛЯ НЕЙТРАЛЬНЫХ ФЕРМИ-ЧАСТИЦ

В ряде работ при изучении процессов взаимодействия частиц в области высоких энергий успешно применялись модификации метода Вейцекера — Вильямса [1, 2]. Согласно различным характеристикам, вычисленных и измеренных на опыте, позволяет утверждать, что существенный вклад в амплитуду неупругого процесса дает диаграм-