#### УДК 537.622

## СТРУКТУРА И МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА СОЕДИНЕНИЙ СИСТЕМЫ Dy1-xGdxAl2

#### М. М. Абд-эль-Аал, А. С. Илюшин, А. В. Печенников, Ю. Р. Шарапов, В. И. Чечерников

#### (кафедра магнетизма)

Результаты исследования магнитных свойств диалюминидов показали, что соединения DyAl<sub>2</sub> и GdAl<sub>2</sub> являются ферромагнетиками, причем в соединении DyAl<sub>2</sub> имеется слабая антиферромагнитная составляющая [1], а соединение GdAl<sub>2</sub> обладает максимальным для всех веществ этого класса значением ферромагнитной температуры Кюри [2]. Кроме того, было установлено, что их магнитные моменты меньше значения магнитного момента для свободного иона, что объясняется или действием кристаллического поля, или наличием небольшого антиферромагнитного вклада в соединении с диспрозием.

В работе [3] было высказано также предположение, что в псевдобинарных соединениях, образованных из ионов различных РЗМ, должен существовать ферримагнетизм.

В связи с этим представляло интерес исследовать структуру и магнитные свойства псевдобинарных соединений системы Dy<sub>1-x</sub>Gd<sub>x</sub>Al<sub>2</sub>, где x=0; 0,2; 0,6; 0,8; 1,0.

Для приготовления образцов псевдобинарных соединений системы  $Dy_{1-x}Gd_xAl_2$ использовались исходные материалы чистоты 99,99%. Образцы получали в электродуговой печи в инертной среде при давлении 1,2 атм и затем подвергали гомогенизирующему отжигу в течение 200 ч при температуре 850° С в вакууме 10<sup>-4</sup> мм рт. ст. Рентгенофазовый анализ полученных соединений, проведенный на дифрактометре УРС-50 ИМ, показал, что все образцы были однофазными и имели структуру C15 (фаза Лавеса). Параметры элементарной ячейки всех псевдобинарных соединений приведены в таблице.

x	μ <sub>4,2</sub> μ <sub>Β</sub>		Т <sub>С. К</sub>			μ <sub>эφφ</sub> (μ <sub>Β</sub> )			
	экспери- мент	расчет	из рентге- новских измерений	нз магнит- ных измерений	θ <sub>Ρ,</sub> Κ	экспери- мент	расчет	<u>μэфф. эксп</u> μ <sub>4,2</sub>	<i>a</i> , Å
0 0,2 0,4 0,6 0,8 1,0	8,37 8,25 8,14 8,02 7,90 7,81	8,26 8,15 8,03 7,92	58 63 125 140 155 171	67 96 116 146 162 171	73 80 92 127 143 166	10,24 9,51 8,89 8,40 7,99 7,96	9,78 9,30 8,80 8,26	1,22 1,15 1,09 1,05 1,01 1,02	7,902 7,885 7,875 7,863 7,832 7,832 7,826

Для измерения температурной зависимости удельной намагниченности  $\sigma(T)$  и гарамагнитной восприимчивости использовались маятниковые магнитные весы. Исследование проводилось в магнитных полях напряженностью до 8 кЭ в температурном интервале 4,2—1000 К.

На рис. 1 показана температурная зависимость параметров элементарной ячейки для всех соединений с различными значениями x. Как видно, у образцов со значениями x=0,4; 0,6; 0,8 и 1,0 имеются две сингулярные точки: низкотемпературная и высокотемпературная. У соединения DyAl<sub>2</sub> и псевдобинарного соединения с x=0,2 этих аномалий не наблюдается.

На рис. 2 приведены кривые зависимости удельной намагниченности псевдобинарных соединений от температуры. Из этих кривых были определены значения ферромагнитной температуры Кюри  $T_c$ , зависимость которой от концентрации приведена в таблице. С увеличением концентрации диспрозия  $T_c$  уменьшается линейно, что может быть качественно объяснено теорией обменного взаимодействия РККИ [4—6]. Из кривых рис. 2 была определена величина магнитного момента ( $\mu_{4,29800}$ ) при 4,2 К.

Магнитный момент был также рассчитан по формуле [1]

#### $\mu_{4,2pacy} = \mu_1(1-x) + \mu_2 x,$

где µ1 — магнитный момент соединения DyAl2, µ2 — магнитный момент соединения GdAl2, x=0,2; 0,4; 0,6; 0,8.

Согласно этой формуле магнитный момент сплава должен линейно изменяться при изменении содержания гадолиния, что и наблюдается на опыте (см. таблицу).

На рис. З показана температурная зависимость обратной удельной восприимчивости для всех исследованных твердых растворов. Закон Кюри—Вейса выполняется в широком температурном интервале — от температуры Кюри до 1000 К. Из этих данных определены значения парамагнитной температуры Кюри Θ<sub>p</sub> и эффективного магнитного момента μ<sub>эфф.экси</sub> для всех соединений (см. таблицу). Можно видеть, что Θ<sub>p</sub> увеличивается с ростом содержания гадолиния, а μ<sub>эфф</sub> уменьшается. Аналогичная закономерность наблюдается и для μ<sub>экси</sub> при 4,2 К. Значения моментов для бинарных со-

I





Рис. 2. Температурная зависимость удельной намагниченности:  $1 - DyA_{12}$ ;  $2 - Dy_{0,8}Gd_{0,2}A_{12}$ ;  $3 - Dy_{0,8}Gd_{0,4}A_{12}$ ;  $4 - Dy_{0,4}Gd_{0,6}A_{12}$ ;  $5 - Dy_{0,2}Gd_{0,8}A_{12}$ ;  $6 - GdA_{12}$ 

закономерность наблюдается и для  $\mu_{2 \text{ ксп}}$  при 4,2 К. Значения моментов для бинарных соединений GdAl<sub>2</sub> и DyAl<sub>2</sub> находятся в хорошем согласни с магнитными моментами для свободных ионов Gd<sup>3+</sup> (7,94  $\mu_B$ ) [7] и Dy<sup>3+</sup> (10,6  $\mu_B$ ) [8].

Известно, что при сплавлении редкоземельных металлов друг с другом эффективный магнитный момент в сплавах можно рассчитать по формуле [9]

$$u_{\mathrm{s}\phi\phi,\mathrm{pacy}}^2 = \mu_{\mathrm{s}\phi\phi,1}^2(1-x) + \mu_{\mathrm{s}\phi\phi,2}^2 x,$$

где  $\mu_{\vartheta \Phi \Phi,1}$  — эффективный магнитный момент DyAl<sub>2</sub>,  $\mu_{\vartheta \Phi \Phi,2}$  — эффективный магнитный момент GdAl<sub>2</sub>, x=0,2; 0,4; 0,6; 0,8.

Рассчитанные по этой формуле эффективные магнитные моменты несколько превышают экспериментальные данные, что можно объяснить присутствием слабого антиферромагнитного обменного взаимодействия между атомами редкоземельных металлов. Нельзя исключить влияние на магнитный момент внутрикристаллического поля.

Рис. І. Температурная зависимость параметров элементарной ячейки соединений системы  $Dy_{1-x}Gd_xAl_2$ :  $1 - GdAl_2$ ;  $2 - Dy_{0,2}Gd_{0,8}Al_2$ ;  $3 - Dy_{0,4}Gd_{0,6}Al_2$ ;  $4 - Dy_{0,6}Gd_{0,4}Al_2$ ;  $5 - Dy_{0,8}Gd_{0,2}Al_2$ ;  $6 - DyAl_2$ 



Рис. 3. Температурная зависимость обратной удельной восприимчивости: *I* — DyAl<sub>2</sub>; *2* — Dy<sub>0.8</sub>Gd<sub>0.2</sub>Al<sub>2</sub>; *3* — Dy<sub>0.6</sub>Gd<sub>0.4</sub>Al<sub>2</sub>; *4* — Dy<sub>0.4</sub>Gd<sub>0.8</sub>Al<sub>2</sub>; *5* — GdAl<sub>2</sub>

Таким образом, из полученных экспериментальных результатов следует, что в системе Dy<sub>1-x</sub>Gd<sub>x</sub> преобладает ферромагнитное обменное взаимодействие между атомами редкоземельных металлов, которое монотонно зависит от состава.

# СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1] Slebarski A., Auieytner J.//Phys. Stat. Sol. (b). 1982. 109, N 1. **P.** 125-129. [2] Witański K.//Phys. Stat. Sol. (b). 1983. 120, N 1. P. 149-154.
[3] Williams H. J., Wernick J. H., Sherwood R. C.//Phys. Rev. 1963. 131, N 3. P. 1039-1042. [4] Ruderman M. A., Kittel C.//Phys. Rev. 1964. 96, N 1. P. 99-102. [5] Kasuya T.//Progr. Theor. Phys. 1956. 16, N 1. P. 45-57. [6] Yosida K.//Phys. Rev. 1957. 106, N 5. P. 893-898. [7] Lee E. W., Montenegro J. F. D.//J. Magn. and Magn. Mat. 1981. 22, N 1. P. 282-286. [8] Swiit W. M., Wallace W. E./J. Phys. Chem. Solids. 1968. 29, N 11. P. 2053-2061. [9] Chetkowski A., Talik E., Wnetrzak G.//J. Phys. F: Metal Phys., 1983. 13, N 2.

and share the

Поступила в редакцию 03.10.86

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 3, ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ. 1987. Т. 28, № 3

#### **ДЕПОНИРОВАНИЕ**

#### УДК 531.7.08

Измерение траектории квантового ангармонического осциллятора. Анализ по теории возмущений / Кикодзе А. Э.

Получено распределение результатов измерения, траектории ангармонического осциллятора в первом порядке теории возмущений. Сформулированы условия на параметры задачи, при которых это распределение слабо отличается от аналогичного распределения для гармонического осциллятора. Деп. ВИНИТИ № 8434-В86 от 10.12.86

#### УДК 551.465

# Высокотемпературные исследования теплофизических характеристик интрузивных пород основного состава / Петрунин Г. И., Попов В. Г., Анвар Мегахед.

Приведен экспериментальный материал по зависимости температуропроводности, теплоемкости и теплопроводности от температуры в интервале 300—1000 К для девяти образцов интрузивных пород основного состава, взятых из скважин — спутников Печенгского района Кольского полуострова. Измерения проводились методом регулярного теплового режима III рода. Полученные значения теплопроводности использовались для оценки тепловых свойств соответствующего слоя литосферы. Деп. ВИНИТИ № 8682-1386 от 17.12.86

### УДК 517.958: 621.372.8.001.24

# Регуляризирующий алгоритм для решения несамосопряженных краевых задач теории волноводов / Моденов В. П.

В общем виде изложен регуляризнрующий алгоритм, предназначенный для решения шарокого класса несамосопряженных краевых задач электродинамики и основанный на методе Галеркина, примененном в комплексном евклидовом пространстве с индефинитной метрикой. Он позволяет учесть потери в веществе, заполняющем волновод, и конечную проводимость боковой поверхности волновода, что обеспечивает адекватное описание моделируемых реальных физических процессов, особенно в резонансной области частот СВЧ диапазона.

Предлагаемый алгоритм проиллюстрирован на примере решения задачи о сочленении трех импедансных волноводов с диэлектрическим заполнением. Решение этой задачи, в частности, может быть эффективно использовано для определения волноводно-резонансным методом проводимости металлических стенок волновода и комплексной диэлектрической проницаемости вещества, заполняющего волновод. Деп. ВИНИТИ № 362-В87 от 15.01.87