

ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНЫХ СВОЙСТВ МОНОХАЛЬКОГЕНИДОВ Ce , Pr И Nd В ШИРОКОМ ИНТЕРВАЛЕ ТЕМПЕРАТУР (4,2—1300° К)

В. Е. АДАМЯН, Г. М. ЛОГИНОВ

В статье излагаются результаты исследований температурной зависимости магнитной восприимчивости соединений CeX , PrX и NdX , где $X = S, Se, Te$ при 4,2—1300° К. Оказывается, что почти все (исключения составляют $PrSe$ и $PrTe$) монохалькогениды при низких температурах становятся антиферромагнетиками, а $CeSe$ и PrS — предположительно, слабыми ферромагнетиками. Дается описание методики измерения, при этом основное внимание уделено маятниковому магнитометру оригинальной конструкции, на котором проводились измерения при гелиевых температурах.

Настоящая работа посвящена изучению магнитных свойств монохалькогенидов CeX , PrX , NdX , где $X = S, Se, Te$. Исследованные соединения были синтезированы из элементов по методу, описанному ранее [1]. Результаты исследований фазового состава образцов рентгенографическими методами показали, что все образцы практически однофазны и имеют хорошо сформированную структуру $NaCl$. Для полученных соединений исследовалась зависимость удельного сопротивления и термоэдс в интервале температур 300—1300° К [1], и показано, что монохалькогениды представляют собой соединения с металлическим характером проводимости.

Измерения магнитной восприимчивости в области температур 77—1300° К проводились методом Фарадея на торсионных кварцевых микровесах с автоматической компенсацией [2], с целью выявления валентных состояний исследуемых веществ. Для обнаружения магнитного упорядочения нами были проведены измерения магнитной восприимчивости в области температур 4,2—77° К на маятниковом магнитометре.

Разработанный нами маятниковый магнитометр схематически изображен на рис. 1. Маятник магнитометра представляет собой кварцевую трубку 7 диаметром 4 мм и длиной 850 мм, укрепленную на подставке 9 вертикально около центра тяжести O при помощи туго натянутых растяжек (толщиной 0,15 мм, шириной 1 мм, длиной 40 мм) из бериллиевой бронзы. Такая система очень чувствительна к силам, приложенным перпендикулярно к нижнему концу трубки. К этому концу прикрепляется образец 11, который помещается в неоднородное магнитное поле.

Сила, действующая на образец, пропорциональна

$$f = M \cdot \frac{\partial H}{\partial X},$$

где M — магнитный момент образца, а $\frac{\partial H}{\partial X}$ — градиент магнитного

поля в горизонтальном направлении. Для того, чтобы создать градиент достаточной величины, употреблялись полюсные наконечники магнита специальной формы 12, близкой к рекомендованной Доменикалли [3]. Следует, однако, заметить, что возможно использование наконечников обычного типа [4]. Сила, с которой магнитное поле действует на образец, уравнивается пондеромоторной силой взаимодействия магнетика 6 с соленоидом 5. Отклонения маятника от положения равновесия регистрируются при помощи оптической системы, также изображенной на рис. 1. С помощью этой системы, состоящей из осветителя 1, линз 2, зеркал 3 и дифференциального фотосопротивления 4 типа ФСК-7, отклонение маятника от положения равновесия преобразуется в пропорциональное этому отклонению электрическое напряжение. Последнее может быть зафиксировано при помощи прибора М1. Подобная система регистрации отклонений отличается большой чувствительностью, высокой стабильностью и позволяет осуществить простую систему автоматического уравнивания. В последнем случае напряжение с выхода моста, образованного плечами фотосопротивления, усиленное или повторенное катодным повторителем КП, подается на соленоид системы компенсации через RC -цепочку, осуществляющую комбинацию жесткой и гибкой отрицательной обратной связи.

В целом прибор позволяет измерять магнитные моменты как пара-, так и ферромагнетиков без изменения конструкции прибора. Исследованные образцы имели массу 5—20 мг и магнитные моменты 10^{-3} — 100 гс.см³/г. При этом, погрешность измерения восприимчивости не превышала 1,5%.

Измерения температуры производились угольным термометром сопротивления, предварительно проградуированным по газовому термометру постоянного объема. Погрешность измерения температуры составляла 0,2—0,5°. Исследования проводились в полях до 15 кэ, причем ток в обмотках электромагнита стабилизировался.

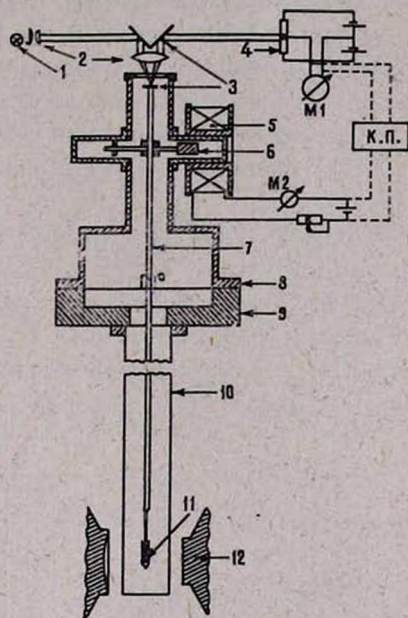


Рис. 1. Поперечное сечение магнитометра.

Исследования показали, что в пределах 75—500° К для цериевых соединений, 50—400° К для соединений празеодима и 70—300° К для соединений неодима выполняется закон Кюри-Вейсса $\chi = \frac{C}{T-\theta}$. При

более высоких температурах наблюдаются отклонения от этого закона. Это связано с тем, что мультиплетное расщепление в случае этих соединений при повышенных температурах становится сравнимым с kT , и для вычисления зависимости $\chi(T)$ надо пользоваться теорией Ван-Флека, в которой учитываются все уровни мультиплета [5]. Сопоставление результатов измерений и теоретических кривых показало, что в исследованных соединениях редкоземельный металл имеет зарядность равную 3+.

Данные магнитных измерений исследованных монохалькогенидов приведены в табл. 1. Все соединения, кроме *PrSe* и *PrTe*, переходят в магнитоупорядоченное состояние. Это связано, по-видимому, с тем, что низшим состоянием иона празеодима в *PrSe* и *PrTe* в кристаллическом поле является синглет (в соответствии с общей теоремой Крамерса), а следующее состояние с $I=0$ лежит достаточно высоко.

Таблица 1

Соединение	CeS	CeSe	CeTe	PrS	PrSe	PrTe	NdS	NdSe	NdTe
Число 4 <i>f</i> -электронов	1	1	1	2	2	2	3	3	3
Параметр решетки [<i>kX</i>]	5,78	5,99	6,36	5,74	5,95	6,32	5,63	5,90	6,26
θ пара [° К]	-45	-32,5	-7,5	-47	-34	-26	-24	-9	-14
T_N [° К]	7	12	10(?)	16	—	—	8	14	13
$\mu_{\text{эксп.}}^{\text{эфф.}}$	2,78	2,58	2,49	3,92	3,79	4,0	3,62	3,52	3,54
$\mu^{\text{эфф.}}$ (свободный ион)	2,54	2,54	2,54	3,58	3,58	3,58	3,62	3,62	3,62

В соединениях *CeSe* и *PrS* ниже точки Нееля возникает слабый спонтанный момент, так что общая намагниченность этих соединений линейно зависит от поля: $\sigma(H, T) = \sigma_0(T) + \chi(T)H$ ($\sigma_0 = 0$ при $T > T_N$). Мы считаем, что это обусловлено тем, что эти вещества являются слабыми ферромагнетиками. Пространственная группа, описывающая структуру NaCl (O_h^5) допускает существование слабого ферромагнетизма [6].

Проведена оценка параметров обменного взаимодействия в приближении теории молекулярного поля [7], при этом потенциал обменного взаимодействия записывался в виде [8]

$$V = -\frac{1}{2} \sum_j A_{ji} (g-1)^2 I_j I_i.$$

Значения параметров обменного взаимодействия между ближайшими (A_1) и следующими за ближайшими (A_2) соседями оказываются

неожиданно большими, что обусловлено, по-видимому, тем, что косвенный обмен осуществляется электронами проводимости ($s-f$ взаимодействие).

В заключение авторы считают своим приятным долгом поблагодарить проф. Г. А. Смоленского за руководство, обсуждение результатов и постоянное внимание к работе, проф. В. П. Жузе и сотрудников его лаборатории за любезное предоставление образцов, проф. С. А. Альтшулера, М. М. Зарипова и И. С. Поминова и других сотрудников КГУ за разрешение и помощь в проведении измерений при гелиевых температурах.

Ереванский государственный

университет,

Институт полупроводников АН СССР,

г. Ленинград

Поступила 29 июня 1966

ЛИТЕРАТУРА

1. В. П. Жузе, А. В. Голубков, Е. В. Гончарова, Т. И. Комарова, В. М. Сергеева, ФТТ, 6, 269 (1964).
2. В. Е. Адамян, А. В. Голубков, Г. М. Логинов, В. Н. Федоров, ФТТ, 7, 3372 (1965).
3. С. А. Domenicali, Rev. Scient. Instrum., 21, 327 (1950).
4. Kin Hirakawa, Kaz. Hirakawa, S. Yoneyama, Japan. Journ. Appl. Phys. 2, 816 (1963).
5. Van Vleck, The theory of Electric and Magnetic Susceptibilities, Oxford (1932), p. 135.
6. Е. А. Тупов, Теория магнитоупорядоченных кристаллов, Изд. АН СССР, М. (1963).
7. J. S. Smart, Magnetism, v. III, by G. T. Rado and H. Suhl, New-York, London, 1963.
8. Ю. П. Иркин, ЖЭТФ, 50, 379 (1966).

Ce-ի, Pr-ի և Nd-ի ՄՈՆՈԽԱԼԿՈԳԵՆԻԴՆԵՐԻ ՄԱԳՆԻՍԱԿԱՆ
ՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆԸ ՋԵՐՄԱՍՏԻՃԱՆԱՅԻՆ
ԼԱՅՆ ՄԻՋԱԿԱՅՔՈՒՄ՝ (4,2-ից—1300°K):

Վ. Ե. ԱԴԱՄՅԱՆ և Գ. Մ. ԼՈԳԻՆՈՎ

Հոդվածում շարադրվում է CeX, PrX, NdX, որտեղ X = S, Se, Te, միացությունների մագնիսական ընկալության ուսումնասիրության արդյունքները կախված ջերմաստիճանից 4,2—1300°K միջակայքում: Ուսումնասիրությունները ցույց են տալիս, որ համարյա բոլոր մոնոխալկոգենները (բացառությամբ PrSe և PrTe-ի) ցածր ջերմաստիճաններում ցուցաբերում են անտիֆերոմագնիսական հատկություններ, իսկ CeSe և PrS-ը ենթադրաբար ձեռք են բերում թույլ ֆերոմագնիսական (слабый ферромагнетизм) հատկություն:

Հոդվածում բերվում է նյութերի մագնիսական հատկությունների չափման մեթոդիկան, ըստ որում ուշադրությունը հիմնականում կենտրոնացվում է օրգինալ կառուցվածքի ճոճանակավոր մագնիսամետրի վրա: Վերջինիս օգնությամբ կատարված են չափումներ հեղուկական ջերմաստիճաններում:

INVESTIGATION OF MAGNETIC PROPERTIES OF MONOCHALCOGENIDES *Ce*, *Pr* AND *Nd* WITHIN A LARGE TEMPERATURE INTERVAL (4,2—1300° K)

V. E. ADAMIAN and G. M. LOGUINOV

The results of the investigation of temperature dependence of magnetic susceptibility of the compounds *CeX*, *PrX* and *NdX* where $X=S, Se, Te$ at 4,2—1300°K are given. It is found that except *PrSe* and *PrTe*, almost all monochalcogenides at low temperature are antiferromagnets, but *CeSe* and *PrS* may be weak ferromagnets. It is given the description of the measurement method the main attention being paid to the pendulum magnetometer of original construction by means of which the measurements at helium temperature was carried out.