

Ф. М. ГАЛЬПЕРИН и Т. М. ПЕРЕКАЛИНА

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМАГНИТНОЙ ВОСПРИИМЧИВОСТИ
СПЛАВОВ ПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛОВ С ТЕЛЛУРОМ

(Представлено академиком А. Ф. Иоффе 9 IX 1949)

Сплавы ванадия, хрома, кобальта и никеля с теллуром были получены путем спекания в вакууме мелкодисперсных хорошо перемешанных порошков, спрессованных в цилиндрики.

Парамагнитная восприимчивость полученных сплавов измерялась на несколько видоизмененной парамагнитной установке Сексмита (1). Кольцо из фосфористой бронзы было здесь заменено горизонтальной пружинкой с двумя зеркалами на концах (для повышения чувствительности системы). Нижний конец стеклянной ампулы, заполненной порошком исследуемого сплава, помещался между полюсами электромагнита, верхний конец прикреплялся на подвесе к пружинке. Наблюдался отброс зайчика при включении тока в электромагните. Предварительно по известной восприимчивости для воды, налитой в ту же ампулу, определялась разность квадратов полей ($H_1^2 - H_2^2$) в нижней и верхней точках ампулы, входящая в формулу для восприимчивости χ (3):

$$\chi = \frac{2lf}{m(H_1^2 - H_2^2) 1,019}, \quad (1)$$

где l — длина столба в см, m — вес исследуемого вещества в г и f — сила, с которой образец втягивается в поле, в мГ. Длина l была взята достаточно большой для того, чтобы увеличение или небольшое уменьшение ее не влияло на отброс зайчика (т. е. на силу f).

Было проведено рентгеновское исследование сплавов VTe, Cr — Te, CoTe и NiTe. Установлено, что три последних сплава имеют кристаллическую решетку никель-арсенидного типа с различными параметрами; решетка сплава VTe отлична от последней и пока не расшифрована.

Сплав VTe. Исследовался сплав с 50 ат. % Te. На рис. 1 дана зависимость его молярной восприимчивости $\chi_{\text{мол}}$ от температуры T . Кружками обозначены экспериментальные точки, кривая представляет собой кривую $\chi_{\text{мол}} = C/T$ при $C = 0,092$. Фактор Ланде g , вычисленный по формуле

$$C = \frac{N}{3k} [M_B^2 g^2 j(j+1)], \quad (2)$$

оказался равным 0,99. Здесь N — число Лошмита, k — постоянная Больцмана, M_B — магнетон, $j = 1/2$.

Эффективный магнитный момент, приходящийся на молекулу, равен

$$\mu_{\text{эфф}} = 2,84 \sqrt{C}. \quad (3)$$

Для VTe $\mu_{\text{эфф}}$, отнесенный к одному атому ванадия, равен $1,70 M_B$. Число непарных d -электронов у изолированного атома ванадия равно 3, p -электронов у теллура 2. Если при образовании химического соединения VTe два непарных p -электрона теллура спарились с двумя d -электронами ванадия, то эффективный момент, обусловленный одним оставшимся непарным d -электроном, должен быть равен $\mu_{\text{эфф}} = \sqrt{n(n+2)} = \sqrt{3} = 1,73 M_B$, что хорошо согласуется с измеренной нами величиной ($1,70 M_B$). Таким образом, VTe оказывается химическим соединением с 1 непарным d -электроном.

Сплавы $Cr-Te$. Были исследованы сплавы хрома с теллуром с различными концентрациями теллура в сплаве. Все эти сплавы ферромагнитны. Как было установлено рентгеновским и магнитным исследованиями, сплавы с содержанием теллура ниже 50 ат. % представляют собой смесь хрома и химического соединения $CrTe$ (параметры

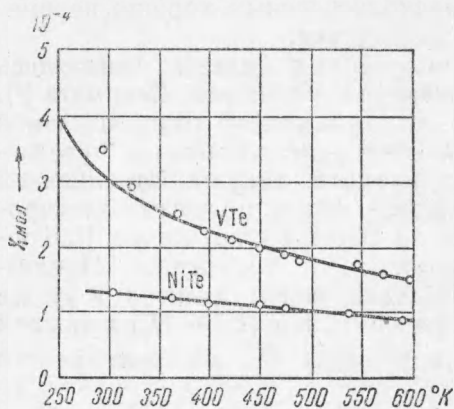


Рис. 1

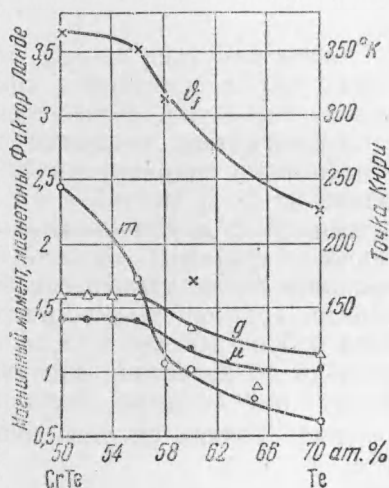


Рис. 2

кристаллической решетки остаются постоянными, намагниченность насыщения линейно увеличивается с увеличением концентрации теллура, достигая максимальной величины при 50% теллура; ферромагнитная точка Кюри, равная для этих сплавов $91^\circ C$, остается неизменной). Сплавы $Cr-Te$ с содержанием теллура больше 50 ат. % (примерно до 70 ат. % Te) являются, повидимому, твердыми растворами вычитания хрома из $CrTe$. Параметры решетки этих сплавов даны в табл. 1. На рис. 2 даны кривые зависимости атомного ферромагнитного момента m и ферромагнитной точки Кюри θ_j от концентрации теллура в сплаве.

Измерение парамагнитной восприимчивости выше точки Кюри показало, что сплавы с 50, 52, 54 и 56 ат. % Te имеют одинаковую восприимчивость (рис. 3) и зависимость восприимчивости от температуры подчиняется закону Кюри — Вейсса:

$$\chi = \frac{C}{T - \theta_p},$$

где $C = 0,243$ и θ_p — парамагнитная точка Кюри, равная для всех этих сплавов $345^\circ K$. Сплавы с большим содержанием теллура дают такую

Ат. % Те	55	3) 40	45	50	58	60	70
a в Å	$3,952 \pm 0,002$				$3,932 \pm 0,002$	$3,912 \pm 0,002$	$3,880 \pm 0,002$
c в Å	$6,160 \pm 0,006$				$6,132 \pm 0,006$	$5,981 \pm 0,003$	$5,908 \pm 0,005$
$e = c/2$ в Å	3,080				3,066	2,990	2,954
$d = \frac{\sqrt{2a^2 + c^2}}{3}$ в Å	2,771				2,757	2,717	2,687
c/a	1,56				1,56	1,53	1,52

же зависимость восприимчивости от температуры, но с другими постоянными Кюри (для 60 ат. % Те $C = 0,175$, для 65 ат. % Те $C = 0,073$, для 70 ат. % Те $C = 0,123$). Парамагнитная точка Кюри этих трех сплавов одинакова и равна 210°K . Таким образом, парамагнитная точка Кюри меняется скачком в интервале 56—60 ат. % Те.

Было установлено, что фактор Ланде g сплавов Cr—Te меняется с увеличением содержания теллура в сплаве и имеет величину 1,60 для соединения состава CrTe и для сплавов с концентрацией теллура до 56 ат. %. При большем содержании теллура он уменьшается (рис. 2).

Эффективный магнитный момент атома хрома в сплаве с 50 ат. % Те, рассчитанный по той же формуле (3), равен $2,81 M_B$. Если два непарных p -электрона теллура при образовании химического соединения CrTe спариваются с двумя d -электронами хрома, то эффективный магнитный момент должен соответствовать двум оставшимся непарными d -электронам, что должно

вести к $\mu_{\text{эфф}} = \sqrt{n(n+2)} = \sqrt{8} = 2,83 M_B$, что хорошо согласуется с экспериментально определенным значением момента ($2,81 M_B$).

На рис. 2 дана зависимость эффективного магнитного момента μ сплавов Cr—Te от концентрации теллура в сплаве. Атомный магнитный момент хрома в ферромагнитном соединении CrTe ($2,44 M_B$) отличается от момента хрома в парамагнитном ($2,81 M_B$) не так резко, как для стандартных ферромагнетиков (Fe, Co, Ni).

Сплав NiTe. Исследовался сплав с 50 ат. % Те. У никеля и у теллура имеется по два непарных электрона. Поэтому можно на основании предыдущего предполагать, что при образовании химического соединения оба электрона d -оболочки никеля спариваются с двумя p -электронами теллура. Тогда парамагнетизм соединения NiTe может быть обусловлен только свободными электронами (4); он, как

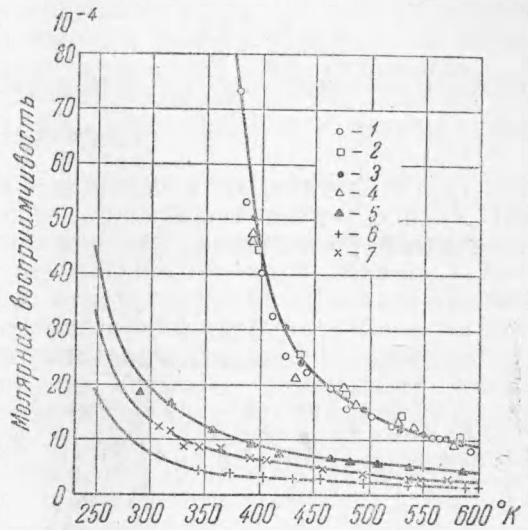


Рис. 3. 1—50 ат. % Те, 2—52 ат. % Те, 3—54 ат. % Те, 4—56 ат. % Те, 5—60 ат. % Те, 6—65 ат. % Те, 7—70 ат. % Те

известно ⁽²⁾, практически не зависит от температуры. Как видно из рис. 1, восприимчивость сплава NiTe почти не зависит от температуры, что подтверждает правильность высказанного предположения.

Сплав CoTe. Магнитное исследование сплава CoTe (50 ат. % Te) было проведено в соленоиде дифференциальным баллистическим методом.

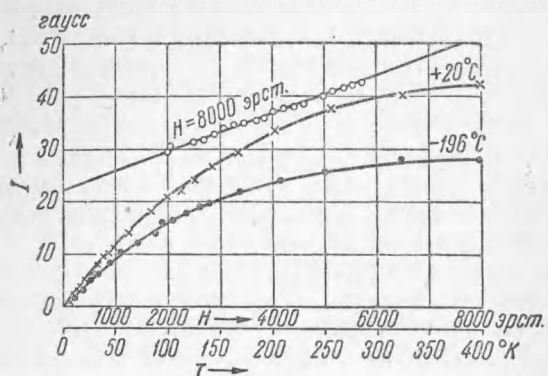


Рис. 4

На рис. 4 даны кривые намагничения этого сплава. Кривая намагничения при комнатной температуре идет выше, чем при температуре жидкого азота, и не достигает полного насыщения, тогда как при -196°C она его достигает. Зависимость намагничения CoTe в поле 8000 эрстед от температуры дана на том же рисунке. Сплав CoTe нельзя отнести ни к классу ферромагнетиков, ни к классу парамагнетиков, поскольку

магнитность этого сплава прямо пропорциональна температуре:

$$I_{\text{CoTe}} = I_0 + cT,$$

где I_0 — намагнитенность сплава при абсолютном нуле, равная 22 гаусса, T — абсолютная температура, $c > 0$. Возможно, что это — сплав типа антиферромагнетика ⁽³⁾.

Поступило
15 VIII 1949

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ W. Sucksmith and R. Pearce, Proc. Roy. Soc., 167, 189 (1938).
² С. В. Вонсовский и Я. С. Шур, Ферромагнетизм, 1948. ³ В. Клемм, Магнетохимия, М., 1939. ⁴ Я. Дорфман, Новые идеи в физике, сборн. 11 (1924).