

И. К. КАМИЛОВ, Г. Г. МУСАЕВ, Г. М. ШАХШАЕВ

## ВЛИЯНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ТЕПЛОЕМКОСТЬ МАГНЕТИТА В ОБЛАСТИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА

(Представлено академиком А. С. Боровиком-Романовым 17 VI 1974)

Магнетит  $Fe_3O_4$  — окись железа со структурой обращенной шпинели. В магнитном отношении  $Fe_3O_4$  является неелевским ферримагнетиком. В стехиометрическом  $Fe_3O_4$  вблизи  $120^\circ K$  наблюдается аномальное поведение различных физических параметров. Первые исследования аномальных свойств проведены в (1). Низкотемпературный переход в  $Fe_3O_4$ , получивший название вервеевского перехода, до сих пор привлекает неослабное внимание исследователей. Вервей (1) объяснил наблюдаемые им аномалии электропроводности упорядочением  $Fe^{2+}$  и  $Fe^{3+}$  ионов в  $B$ -подрешетке, однако последующие детальные исследования показали, что наблюдаемые многочисленные явления в области низкотемпературного превращения в  $Fe_3O_4$  (1-10, 14) не могут быть объяснены исключительно в рамках вервеевского упорядочения. Поэтому по-прежнему сохраняется интерес к исследованию этого перехода. Ранее мы исследовали влияние сильного электрического поля на проводимость обеих фаз  $Fe_3O_4$  (6). В настоящей работе исследована причина появления двух пиков теплоемкости, наблюдаемых в области низкотемпературного перехода в  $Fe_3O_4$ . Для этого было проведено изучение их поведения в магнитном поле.

Для измерения теплоемкости  $c_p$  поликристаллического естественного минерала магнетита нами использован метод вакуумного адиабатического калориметра (9). Результаты измерений теплоемкости в магнитном поле представлены на рис. 1.

В отсутствие поля на кривой температурной зависимости  $c_p$  при  $T = 111^\circ K$  наблюдается значительный пик, связанный с низкотемпературным превращением (кривая 1). Для стехиометрического  $Fe_3O_4$  аномалия  $c_p$  наблюдалась вблизи  $120^\circ K$  (7). С увеличением нестехиометрии температура перехода Вервея  $T_V$  понижается и, как показал Вервей (1), для отношения  $Fe_2O_3/FeO = 1,07$  она становится равной  $100^\circ K$ . Различные примеси и дефекты также понижают температуру перехода (10). Поэтому естественно полагать, что исследованный нами образец является нестехиометрическим и содержит различные примеси. Такое заключение вытекает и из сравнения максимального значения  $c_p$  нашего образца, равного примерно  $30$  кал/моль·град с данными других авторов, где максимальные значения  $c_p$  стехиометрического  $Fe_3O_4$  получаются равными  $60$  кал/моль·град и выше (7, 11).

Второй размытый пик  $c_p$  наблюдается при  $100^\circ K$ .

Следует отметить, что подобный пик на кривой  $c_p(T)$  был обнаружен еще Веструмом и Гронвольдом (7), высказавшим предположение, что он связан с удвоением периода решетки вдоль оси  $c$ . Вообще существование двух аномалий в области  $T_V$  было установлено значительно раньше при исследовании различных физических свойств (11-13). В ряде работ высказывались различные предположения о природе второго низкотемпературного пика теплоемкости. Вопрос о том, является ли это независимым переходом или он связан с основным переходом, до сих пор остается открытым.

Известно, что положение скачка намагниченности, появляющегося в слабых полях, можно сместить по температуре соответствующей магнитной обработкой перехода<sup>(3)</sup>. Соответственно должно измениться и положение основного максимума  $c_p$ . Если в том же направлении сместится и положение размытого перехода, то, по всей вероятности, оба пика тесно связаны с определенным механизмом.

К сожалению, до сих пор отсутствуют попытки измерения  $c_p$  магнетита  $Fe_3O_4$  в области  $T_V$  при наличии магнитного поля  $H$ . Мы исследовали

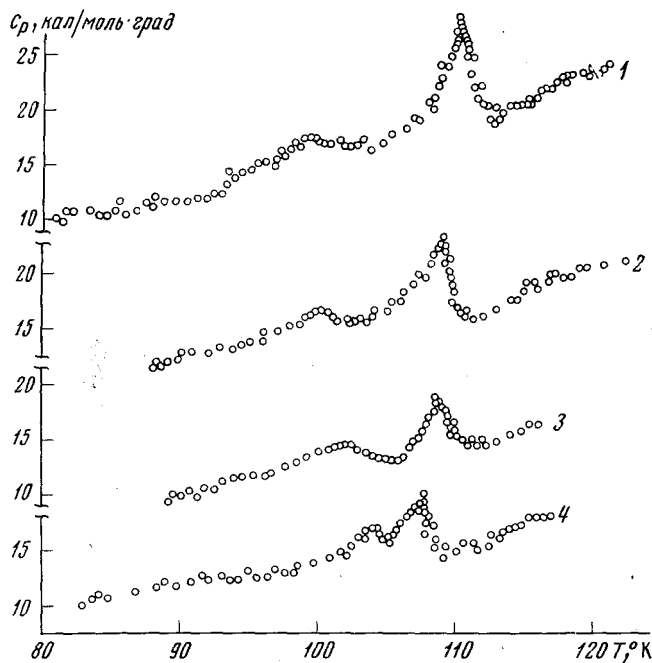


Рис. 1. Зависимость теплоемкости магнетита  $Fe_3O_4$  от температуры и магнитного поля: 1 —  $H=0$ ; 2 —  $H=1,3$  кэ; 3 —  $H=2,8$  кэ; 4 —  $H=3,4$  кэ

поведение аномалий  $c_p$  в поле  $H$ , считая, что подобный подход может прояснить природу этого превращения. Соответствующие кривые представлены на рис. 1, где указаны значения полей  $H$ , при которых проводились измерения.

Как видно из рис. 1, в поле  $H$  аномалии  $c_p$  сохраняются, хотя интервал превращения и величина большого пика несколько сужается и уменьшается. С ростом поля  $H$  максимум большого пика, связанный с вервеевским переходом, смещается в сторону низких температур подобно антиферромагнитной точке Нееля<sup>(15)</sup>. Максимум размытого пика смещается в противоположную сторону. Различное поведение обоих пиков  $c_p$  в магнитном поле указывает на то, что они соответствуют переходам, обусловленным различными механизмами.

Дагестанский государственный университет  
им. В. И. Ленина  
Махачкала

Поступило  
14 VI 1974

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> а) *J. W. Verwey, E. L. Heilmann*, J. Chem. Phys., v. 15, 174 (1947); *J. W. Verwey, P. W. Hayman*, Physica, v. 8, 979 (1941). б) *P. A. Chalileev*, Phys. Zs. Sowjetunion, v. 7, 108 (1935). <sup>2</sup> *J. E. Samuelsen, E. J. Blecker et al.*, J. Appl. Phys., v. 39, 1114 (1968); *E. Vittoratos, J. Baranov, P. P. N. Meincke*, J. Appl. Phys., v. 42, 1653 (1971). <sup>3</sup> *L. R. Bickford*, Phys. Rev., v. 75, 1298 (1949); Rev. Mod. Phys., v. 25, 75 (1953); *C. H. Li*,

Phys. Rev., v. 40, 1002 (1932); *Н. Л. Брюхаров*, Изв. АН СССР, сер. физ., т. 21, 1268 (1957); *С. А. Domenicali*, Phys. Rev., v. 78, 459 (1950). <sup>4</sup> *W. C. Hamilton*, Phys. Rev., v. 110, 1050 (1958). <sup>5</sup> *J. B. Sokoloff*, Phys. Rev., B, v. 3, 3162 (1971); v. 5, 4496 (1972). <sup>6</sup> *И. К. Камбаров, М. М. Мугалапов*, Изв. АН СССР, сер. физ., т. 34, 1250 (1970). <sup>7</sup> *E. F. Westrum, F. Gronvold*, J. Chem. Thermod., v. 1, 543 (1969). <sup>8</sup> *J. R. Cullen, E. Callen*, Phys. Rev. Lett., v. 26, 236 (1971). <sup>9</sup> *И. К. Камбаров, Г. М. Шахматов*, Письма ЖЭТФ, т. 15, 480 (1972). <sup>10</sup> *J. Miyahara*, J. Phys. Soc. Japan., v. 32, 629 (1972). <sup>11</sup> *А. Алапина, Ю. А. Душечкин, Б. Я. Сузаревский*, Физика конден. состояния, в. 14, 43 (1971). <sup>12</sup> *Т. Д. Зотов*, Физ. мет. и металловед., т. 8, 639 (1959); т. 7, 906 (1959). <sup>13</sup> *А. А. Самохвалов, И. Г. Факидов*, Там же, т. 8, 694 (1959); т. 9, 31 (1960). <sup>14</sup> *Н. М. Ковтун, Е. Е. Соловьев, А. А. Шемяков*, ФТТ, т. 14, 2799 (1972). <sup>15</sup> *А. С. Боровик-Романов*, Антиферромагнетизм. Сб.: Итоги науки, в. 4, Изд. АН СССР, 1962, стр. 50.