7. Elliott R. I.//Phys. Rev. 1957. 108. P. 1384.
8. Nakahara J., Kobayashi K., Fujii A.//J. Phys. Soc. Japan. 1974. 37. P. 1312.

Поступила в редакцию
28.12.95

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 3, ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ. 1996. № 5

УДК 538.245

ОБ АНОМАЛИЯХ СПОНТАННОЙ НАМАГНИЧЕННОСТИ, ВОСПРИИМЧИВОСТИ ПАРАПРОЦЕССА И ХАРАКТЕРИСТИК ТЕХНИЧЕСКОГО НАМАГНИЧИВАНИЯ МАГНЕТИТА В ОБЛАСТИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО ПРЕВРАЩЕНИЯ

К. П. Белов, А. Н. Горяга, Л. А. Скипетрова

(кафедра общей физики для естественных факультетов)

Установлено, что в области низкотемпературного превращения магнетита (T_t= =100÷120 К) спонтанная намагниченность резко уменьшается, а восприимчивость парапроцесса возрастает. Одновременно и характеристики технического намагничивания (коэрцитивная сила и восприимчивость, измеренная в слабом поле) достигают экстремальных значений в данной области. На основании этого делается вывод о том, что низкоктемпературное превращение в магнетите является особого вида магнитным фазовым переходом.

Магнетит Fe_3O_4 является ферримагнетиком, принадлежащем к семейству ферритов-шпинелей. Несмотря на огромное число работ, посвященных его исследованию, в том числе с использованием нейтронографии, мёссбауэрографии и ЯМР, магнитные и другие физические свойства этого магнетика остаются до конца не раскрытыми, особенно в области низких температур [1].

В работах [2—5] на основе изучения температурных зависимостей электро- и магнетосопротивления, теплоемкости и других свойств магнетита было установлено низкотемпературное превращение, которое в зависимости от наличия примесей и нарушения стехиометрии образцов (измерения проводились как на синтетических, так и на природных моно- и поликристаллах) наблюдается при разных температурах в интервале 100—120 К.

В работе [6] выдвинута гипотеза, вызвавшая большой интерес, о том, что превращение в магнетите представляет собой особый структурно-электронный фазовый переход. При температуре превращения возникает упорядоченное расположение (чередование) катионов Fe^{2+} и Fe^{3+} в октаэдрических позициях шпинельной структуры магнетита. При этом упорядочение осуществляется не перемещением катионов, а путем изменения их валентности за счет перескока электронов между катионами Fe^{2+} и Fe^{3+}.

Однако по мере накопления экспериментальных фактов, относящихся к этому переходу, модель Вервея [6] стала подвергаться критике [7—9].

В настоящем кратком сообщении мы приводим результаты наших измерений температурных зависимостей удельной спонтанной намагниченности σ_s, восприимчивости парапроцесса χ_p и характеристик технического намагничивания: коэрцитивной силы H_c и магнитной восприимчивости χ, измеренной в поле 20 Э. Измерения проводились на синтетическом поликристаллическом образце. Величины σ_s определялись из изотерм $\sigma(H)$ методом экстраполяции ветвей намагниченности, соот-

ветствующих полям выше технического намагничивания, к нулевому полю (рис. 1).

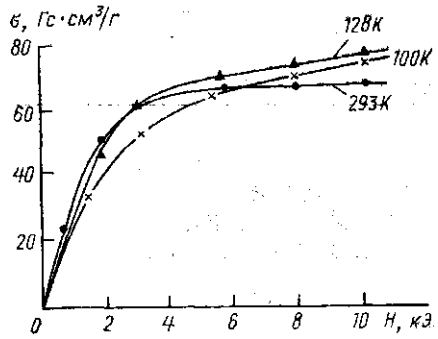

Рис. 1

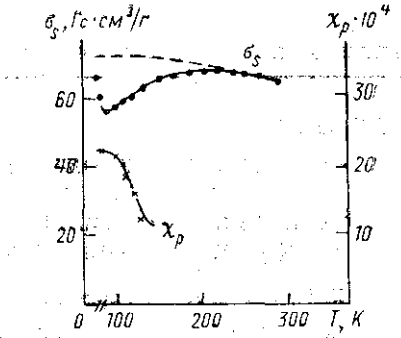

Рис. 2

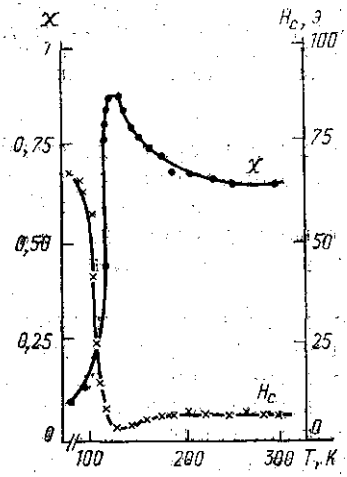

Рис. 3

Рис. 1. Изотермы намагниченности магнетита вблизи температуры превращения T_t (изотерма 128 К) и вдали от T_t (изотермы 293 и 100 К)

Рис. 2. Температурные зависимости спонтанной намагниченности σ_s и восприимчивости парапроцесса χ_p магнетита

Рис. 3. Температурные зависимости коэрцитивной силы H_c и магнитной восприимчивости χ магнетита

Из рис. 2 видно, что спонтанная намагниченность при подходе к низкотемпературному переходу быстро уменьшается, приобретая характер занижения. Одновременно с этим сильно возрастает восприимчивость парапроцесса, определенная по наклону изотерм $\sigma(H)$ в полях выше полей технического насыщения (см. рис. 1).

Ранее в работах [2, 10] наблюдалось резкое изменение намагниченности насыщения в области низкотемпературного превращения. Это было приписано влиянию магнитной анизотропии. Однако магнитные поля, используемые в этих работах ($H \sim 10^4$ Э), были заведомо больше, чем необходимо для достижения магнитного насыщения в области низкотемпературного превращения магнетита (коэрцитивная сила в этой области менее 70 Э). Из рис. 1 видно, что влияние магнитной анизотропии на кривые намагничивания имеет место в полях $H_{an} < 2$—3 кЭ. Того же порядка величина H_{an} следует из оценки поля анизотропии по формуле

$$H_{an} = 2K_1/I_s \sim 1 \text{ кЭ}$$

при подстановке значения $|K_1| = -2 \cdot 10^5$ эрг/см^3, измеренного непосредственно в области низкотемпературного превращения T_t [11] и спонтанной намагниченности $I_s = \rho\sigma_s = 5 \cdot 60 = 300$ Гс (где ρ — плотность). В полях, больших 2—3 кЭ, существует парапроцесс, который при T_t достигает наибольшей интенсивности и носит антиферромагнитный характер, о чем свидетельствует аномальный (отрицательный) максимум магнитокалорического эффекта, обнаруженный в области T_t, в работах [12, 13].

На рис. 3 приведены температурные зависимости коэрцитивной силы H_c и магнитной восприимчивости χ в поле 20 Э. Видно, что в области температур 125—130 К χ достигает максимума, а H_c — минимума. Это происходит при температурах, при которых первая константа магнитной анизотропии обращается в нуль [14, 15]. При дальнейшем понижении температуры, т. е. при приближении к температуре низкотемпературного превращения $T_t = 100 \div 120$ К, как следует из рис. 3, χ скачком стремится к нулю, а H_c быстро растет, достигая значения более 70 Э. Температурные изменения магнитной восприимчивости и коэрцитивной силы коррелируют с температурным ходом первой константы магнитной анизотропии, которая при приближении к низкотемпературному переходу скачком возрастает [11].

Из всего сказанного выше следует вывод о том, что низкотемпературное превращение в магнетите при T_t не носит структурно-электронного характера, как это следует из модели Вервея, а скорее является магнитным переходом типа порядок—беспорядок особого вида. В работах [16, 17] трактовка его осуществлена на основе модели «магнитоэлектронной подрешетки», выдвинутой одним из авторов настоящей статьи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Крупичка С. Физика ферритов. Т. 2. М., 1976.
2. Weiss P., Forrer R.//Ann. de Physique. 1929. 21. P. 275.
3. Okamura T.//Sci. Rep. Tohoku Imp. Univ. 1932. 21. P. 231.
4. Shing Hsien Li//Phys. Rev. 1932. 40. P. 1002.
5. Халилеев П. А.//Sow. Phys. 1935. 7. P. 108.
6. Wervey E. J. W., Haaijman P. W.//Physica. 1941. 8. P. 979.
7. Cullen J. R., Callen E.//Solid State Commun. 1971. 9, N 13. P. 1041.
8. Chikazumi S.//A. I. P. Conf. Proc. 1975. 29. P. 382.
9. Buschenau U.//Phys. Stat. Solidi (b). 1975. 70. P. 181.
10. Umemuta S., Iida S.//J. Phys. Soc. Japan. 1976. 40. P. 679.
11. Abe K., Miyamoto Y., Chikazumi S.//J. Phys. Soc. Japan. 1976. 41. P. 1894.
12. Красовский В. П., Факидов И. Г.//ЖЭТФ. 1960. 39, № 2. С. 2356.
13. Белов К. П., Горяга А. Н., Пронин В. Н., Скипетрова Л. А.//Письма в ЖЭТФ. 1982. 36, № 4. С. 118.
14. Bickford L. R.//Phys. Rev. 1950, 78. P. 449.
15. Наровская Н. Н.//Кристаллография. 1958. 3, № 3. С. 346.
16. Белов К. П.//УФН. 1993. 163, № 5. С. 53.
17. Белов К. П.//УФН. 1996. 166, № 6. С. 669.

Поступила в редакцию
22.03.96