

УДК 538.245

О ЛАБИЛЬНОМ МАГНИТНОМ СОСТОЯНИИ ПРИ СПИН-ПЕРЕОРИЕНТАЦИОННОМ ПЕРЕХОДЕ В МАГНЕТИТЕ

К. П. Белов, А. Н. Горяга, Л. А. Скипетрова, В. Н. Пронин, Р. В. Сенина

(кафедра общей физики для естественных факультетов)

В магнетите при температуре около 130 К вследствие изменения знака первой константы магнитной анизотропии K_1 [1] происходит фазовый переход, который носит спин-переориентационный характер: $\Phi < 111 \rangle \rightleftharpoons \Phi < 100 \rangle$. Факидовым и Красовским [2] в области этого перехода было обнаружено аномальное поведение магнитокалорического эффекта (ΔT -эффекта): изменение знака ΔT -эффекта с положительного на отрицательный и так называемый ΔT -эффект первого измерения, суть которого заключается в том, что первоначальное наложение магнитного поля приводило к необратимому изменению температуры образца. При всех последующих включениях магнитного поля наблюдался обратимый и практически неизменный ΔT -эффект. Особенно следует подчеркнуть, что ΔT -эффект первого измерения имел место уже в слабых магнитных полях. На основании этого можно предположить, что в магнетите в окрестности спин-переориентационного перехода спиновая система находится в таком состоянии, когда она неустойчива даже к слабым внешним возмущениям.

В работе [3] теоретически было показано, что в магнетиках с кубической кристаллической структурой спиновая система в районе спин-переориентационного перехода $\Phi < 111 \rangle \rightleftharpoons \Phi < 100 \rangle$ должна находиться в метастабильном состоянии, т. е. в состоянии, которое устойчиво к слабым внешним возмущениям. Следовательно, в магнетите фазовый переход $\Phi < 111 \rangle \rightleftharpoons \Phi < 100 \rangle$ носит более сложный характер, чем это следует из результатов работы [3]. Поэтому представляло интерес провести более детальное изучение спин-переориентационного перехода в магнетите.

Исследование было выполнено на поликристаллическом образце магнетита. Синтез данного образца проведен по керамической технологии. Первый обжиг был при температуре 1100°C (2 ч) в среде $\text{CO}_2 + \text{H}_2$, а окончательное спекание осуществлялось в той же среде в течение четырех часов при температуре 1300°C. Рентгенофазовый и рентгеноструктурный анализы показали, что образец представляет собой однофазовую шпинель с параметром решетки $a = 8,392$ Å. В интервале температур $77 \div 293$ К измерены магнитокалорический эффект (по методике, описанной в работе [4]) намагниченность I и магнитная проницаемость μ (баллистическим методом).

На рис. 1 и 2 приведены результаты наших измерений, а также кривые температурной зависимости константы анизотропии K_1 и теплоемкости C_p , взятые из работ [1] и [5] соответственно. Видно, что в районе спин-переориентационного перехода наблюдается аномальное поведение магнитокалорического эффекта: резкий максимум отрицательного ΔT -эффекта и наличие ΔT -эффекта первого измерения, что находится в соответствии с результатами работы [2]. Из изотерм $\Delta T(H)$ (см. рис. 2), снятых при $T = 122$ К, отчетливо видно, что ΔT -эффект первого измерения возникает уже в слабых магнитных полях. Следовательно, наши измерения подтверждают, что спиновая система

магнетита в районе спин-переориентационного перехода является неустойчивой уже к самым слабым внешним возмущениям.

Состояние системы, которое неустойчиво не только к сильным, но и к слабым внешним возмущениям, в термодинамике носит название лабильного. Кривая, ограничивающая область лабильных состояний, называется спинодалью. Спинодаль разделяет область положительных и отрицательных значений производной $\left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_p$ (S — энтропия), а на самой спинодали эта производная равна нулю [6]. Следовательно, при переходе через спинодаль теплоемкость $C_p = T \left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_p$ также будет изменять свой знак с положительного на отрицательный. Вещество, оказавшись в лабильном состоянии, быстро теряет пространственную однородность и приобретает особую неоднородную структуру без фазовых границ. Такой фазовый переход, когда систему удастся предварительно перевести в

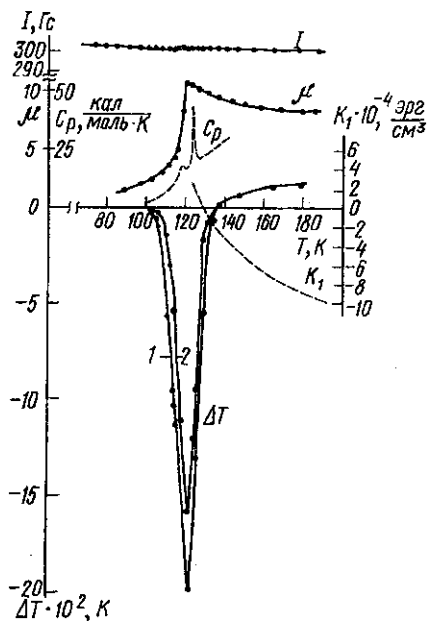


Рис. 1. Температурные зависимости намагниченности I ($H=10$ кЭ), магнитной проницаемости μ ($H=2$ Э), магнитокалорического эффекта ΔT (ΔT -эффект первого измерения — 1 и второго измерения — 2), теплоемкости C_p и первой константы магнитной анизотропии K_1 .

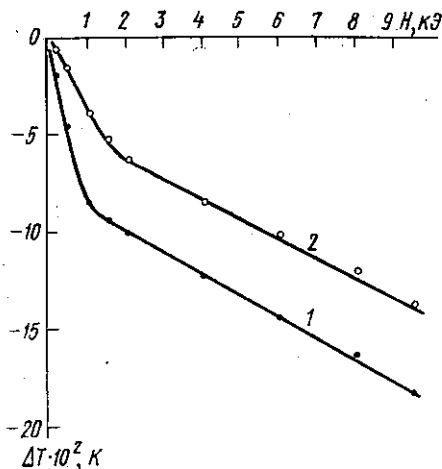


Рис. 2. Изотермы магнитокалорического эффекта при $T=122$ К: ΔT -эффект первого измерения (1) и второго измерения — (2).

лабильное состояние, носит название спинодального распада (СР). В обзоре [7] подробно рассмотрены особенности СР на примере молекулярных систем. Вместе с тем в [7] считают, что спинодальный распад не является каким-то изолированным и не имеющим аналогов в других системах явлением. Авторы предполагают, что СР может иметь место и в магнитных системах.

Принимая во внимание вышесказанное и основываясь на результатах по магнитокалорическому эффекту (ΔT -эффект первого измерения), можно считать, что спин-переориентационный переход в магнетите протекает через спинодальный распад. Функцией, характеризующей отклик магнитной системы на внешнее возмущение, является теплоем-

кость $C_H = T \left(\frac{\partial S}{\partial T} \right)_H$, которая при переходе через спинодаль должна менять свой знак с положительного на отрицательный. Так как теплоемкость C_H входит в формулу для магнитокалорического эффекта:

$$\Delta T = - \frac{T}{C_H} \left(\frac{\partial I}{\partial T} \right)_H \Delta H,$$

то, следовательно, в магнитоупорядоченных веществах, находящихся в лабильном состоянии, знак магнитокалорического эффекта должен совпадать со знаком производной $\left(\frac{\partial I}{\partial T} \right)_H$.

Как следует из работы [8], в магнетите только при температуре структурного перехода имеет место небольшой скачок намагниченности ($\sim 0,01\%$). Из рис. 1 видно, что аналогичное изменение намагниченности в нашем образце наблюдается в интервале температур $115 \div 117$ K. За исключением этого узкого интервала производная $\left(\frac{\partial I}{\partial T} \right)_H$ всюду имеет отрицательный знак и слабо зависит от температуры. Следовательно, в магнетите в области спин-переориентационного перехода, протекающего через спинодальный распад ($C_H < 0$), магнитокалорический эффект должен иметь отрицательный знак, что согласуется с нашими экспериментальными данными и результатами работы [2].

На рис. 1 приведена кривая $C_p(T)$ (при $H=0$) для синтезированного монокристаллического образца магнетита, взятая из работы [5]. Видно, что в области спин-переориентационного перехода теплоемкость имеет аномальный ход: т. е. при охлаждении образца C_p резко возрастает, затем падает и снова растет. Измеряемая на опыте теплоемкость магнитоупорядоченных веществ состоит, главным образом, из решетчатой теплоемкости $C_{\text{реш}}$ и магнитной теплоемкости $C_{\text{магн}}$, характеризующей спиновую систему. Провал на кривой $C_p(T)$ указывает на то, что теплоемкость $C_{\text{магн}}$ в данной области температур имеет тенденцию в какой-то момент времени стать отрицательной. Таким образом, можно считать, что результаты работы [5] также подтверждают возникновение в магнетите лабильного состояния магнитной системы в районе спин-переориентационного перехода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Bickford L. R., Repoye R. F. Proc. IEEE, 1957, 104B, p. 238.
- [2] Факидов И. Г., Красовский В. П. ЖЭТФ, 1960, 39, № 2, с. 235. [2] Белов К. П., Звездин А. К. и др. ЖЭТФ, 1975, 68, № 3, с. 1189. [4] Ивановский В. И. Физ. мет. и металловедение, 1959, 7, № 1, с. 29. [5] Rigo M. O., Kleinclauss J. Phil. Mag., B, 1980, 42, N 3, p. 393. [6] Зельдович Я. Б., Тодес О. М. ЖЭТФ, 1940, 10, № 2, с. 1441. [7] Скрипов В. П., Скрипов А. В. УФН, 1979, 128, № 2, с. 193. [8] Уметуга S., Iida S. J. of Soc. Japan., 1976, 40, N 3, p. 679.

Поступила в редакцию
30.11.81