

МАГНИТООПТИЧЕСКОЕ ИЗМЕРЕНИЕ
ОРИЕНТАЦИИ ВЕКТОРА АНТИФЕРРОМАГНЕТИЗМА
ПРИ ФАЗОВОМ ПЕРЕХОДЕ В ГЕМАТИТЕ
В УСЛОВИЯХ ОДНООСНОГО РАСТЯЖЕНИЯ

*В.С.Меркулов, Е.Г.Рудашевский, А.Ле Галль¹⁾
К.Лейкюрас¹⁾*

Предложен магнитооптический метод исследования магнитного фазового перехода в гематите ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) в условиях одноосного растяжения при 300К. Найдена явная зависимость параметра перехода – угла поворота вектора антиферромагнетизма – от магнитного поля и механического напряжения.

Актуальным вопросом исследования антиферромагнетизма является наблюдение за ориентацией вектора антиферромагнетизма \mathbf{I} , которая непосредственно может контролироваться с помощью ядерно-физических методов (нейтронография и др.), но с невысокой точностью. В настоящей работе сообщается о наблюдении за состоянием вектора \mathbf{I} с помощью методов магнитооптики.

¹⁾ Лаборатория магнетизма и оптики твердого тела CNRS, Бельвю, Франция.

Гематит ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$, кристаллическая структура D_{3d}^6) в слабоферромагнитной фазе ($260^\circ < T < 950\text{K}$) обладает тем свойством, что вектор \vec{l} стремится ориентироваться в базисной плоскости перпендикулярно внешнему магнитному полю \vec{H} и в то же время перпендикулярно одноосному растягивающему напряжению \vec{p} , приложенному в базисной плоскости. Конкуренция этих двух факторов приводит к возникновению фазового перехода, причем параметром перехода является угол ϕ поворота вектора \vec{l} . Ориентация векторов \vec{H} , \vec{p} и \vec{l} приведена на рис. 1, ось $x \parallel U_2$.

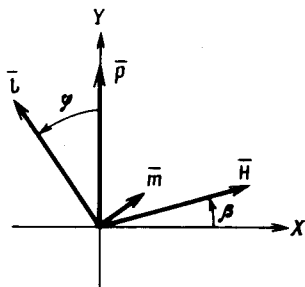


Рис. 1. Ориентация векторов \vec{l} , \vec{m} , \vec{H} и \vec{p} в условиях эксперимента

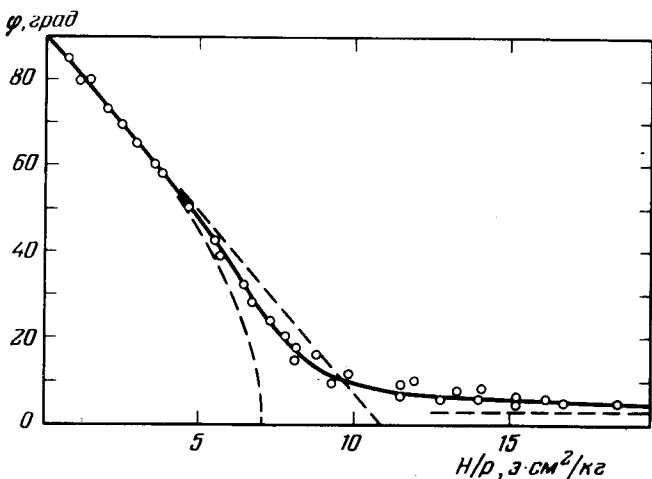


Рис. 2. Зависимость угла ϕ от H/ρ . Сплошная линия — теоретическая кривая

Теоретическое рассмотрение, основанное на использовании простейшего термодинамического потенциала, приводящего к $\chi_{\parallel} \neq 0$, и с учетом магнитоупругого вклада, билинейного по компонентам \vec{l} , дает следующую формулу для определения равновесного значения ϕ :

$$(U_{11} - U_{12}) \rho \sin 2\phi = m_D H \sin(\phi - \beta) + (\chi_{\perp} - \chi_{\parallel}) H^2 \sin 2(\phi - \beta), \quad (1)$$

где $\frac{1}{2}(U_{11} - U_{12}) = M$ — константа магнитоупругости [1], m_D — слабоферромагнитный момент Дзялошинского, χ_{\perp} , χ_{\parallel} — магнитные восприимчивости соответственно поперек и вдоль \vec{l} , β — угол между \vec{H} и осью x .

Устойчивому состоянию соответствует решение уравнения (1) с $\phi \rightarrow \beta$ при $H \rightarrow \infty$ и $\phi \rightarrow \pi/2$ при $H \rightarrow +0$.

Когда $\vec{p} \perp \vec{H}$ ($\beta = 0$) зависимость ϕ от H при $\rho = \text{const}$ носит характер фазового перехода второго рода, а именно: 1) $\phi = 0$ при $H > H_{\text{кр}}$,

$$2) \phi = \arccos \frac{m_D H}{2(U_{12} - U_{11})p - H^2(\chi_{\perp} - \chi_{\parallel})} \quad \text{при } 0 < H < H_{кр}, \quad (2)$$

где

$$H_{кр} = \frac{\sqrt{m_D^2 + 8(\chi_{\perp} - \chi_{\parallel})(U_{12} - U_{11})p - m_D}}{2(\chi_{\perp} - \chi_{\parallel})}.$$

В случае, когда $\chi_{\parallel} = 0$, формулы (2), (3) совпадают с полученными в работе [2]. Заметим, что при переходе скачком изменяется симметрия: более симметричная фаза I обладает элементами симметрии E, I, σ_d, U_2 , менее симметричная фаза — только E . В такой ориентации поворот I происходит четным образом по ϕ , т. е. возможно образование доменной структуры. Это вырождение снимается при $\beta \neq 0$.

Для экспериментального исследования был использован магнитооптический метод, который описан в работе [3]. Он позволял измерять компоненты тензора диэлектрической проницаемости ϵ_{xy} и $\frac{1}{2}(\epsilon_{xx} - \epsilon_{yy})$, которые следующим образом зависят от ϕ и p :

$$\begin{aligned} \frac{1}{2}(\epsilon_{xx} - \epsilon_{yy}) &= \eta \cos 2\phi + \zeta p, \\ \epsilon_{xy} &= \eta \sin 2\phi, \end{aligned}$$

где η — магнитный вклад в двулучепреломление, ζ — пьезооптическая константа.

Результаты эксперимента свидетельствуют о том, что при строгой ориентации $\mathbf{H} \perp \mathbf{p}$ происходит разбиение образца на домены и о значении угла ϕ для образца в целом в строгом смысле в области перехода говорить нельзя.

При отклонении \mathbf{H} от положения $\mathbf{H} \perp \mathbf{p}$ ($|\beta| \gg 2^\circ$) разворот I происходит почти однодоменным образом при $p > 100 \text{ кГ/см}^2$. На рис. 2 приведены значения угла ϕ как функция от H/p для $\beta = 3^\circ$ ($100 \text{ кГ/см}^2 < p < 150 \text{ кГ/см}^2$, $0 < H < 3 \text{ кЭ}$). Экспериментальные точки хорошо согласуются с теоретической кривой, проведенной в соответствии с формулой (1) при

$$\frac{m_D}{2(U_{12} - U_{11})} = 1,45 \cdot 10^5 \text{ э.}$$

Из эксперимента получена следующая зависимость критического поля от растягивающего напряжения

$$H_{кр}(p) = 6,75p \text{ (э} \cdot \text{см}^2/\text{кГ)},$$

где p — измеряется в кГ/см^2 .

Описанный метод эффективен для прямого наблюдения магнитного фазового перехода в окрестности точки Морина [4].

В заключение авторы приносят благодарность академику А.М.Прохорову и научному директору СНРС доктору Ж.Винтеру за поддержку и обсуждение работы.

Физический институт
им. П.Н.Лебедева
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
16 сентября 1977 г.

Литература

- [1] Р.З.Левитин, А.С.Пахомов, В.А.Шуров. ЖЭТФ, 56, 1242, 1969.
 - [2] И.Е.Дикштейн, В.В.Тарасенко, В.Г.Шавров. ФТТ, 16, 2192, 1974.
 - [3] В.С.Меркулов, Е.Г.Рудашевский, А.Ле Галль. Письма в ЖЭТФ, 22, 140 , 1975.
 - [4] H.Le Gall, C.Leycuras, D.Minella, E.G.Rudashevsky, V.S.Merkoulov. International Conference on Magnetism. Amsterdam 1976, Physica 86 – 88B, 1223, 1977.
-