

Е. КОНДОРСКИЙ

**К ВОПРОСУ О МАГНИТНОЙ АНИЗОТРОПИИ ФЕРРОМАГНИТНЫХ
КРИСТАЛЛОВ В СЛАБЫХ ПОЛЯХ**

(Представлено академиком С. Н. Вавиловым 12 I 1938)

В последнее время опубликованы весьма важные результаты Вильямса (1), который впервые исследовал магнитные свойства кристаллов на образцах замкнутой формы. Вильямс показал, что кривые намагничивания кристаллов по различным осям различаются также и в слабых полях. Для магнитной восприимчивости по осям [100], [110] и [111] были получены значения, которые относятся приблизительно, как 6 : 3 : 2.

На то, что магнитная анизотропия может существовать также в слабых полях впервые указывал Акулов(2). Этот вывод был получен Акуловым на основании общего предположения, что работа намагничивания в любом направлении является одной и той же функцией суммы компонентов намагничивания по осям легкого намагничивания. Исходя из этого предположения, Акулов получает, что значения восприимчивости по осям [100], [110] и [111] должны относиться, как 6 : 3 : 2.

Бозорт (3) для объяснения магнитной анизотропии в слабых полях исходит из предположения, что намагничение по оси легкого намагничивания при любом направлении поля является одной и той же функцией компонента поля по этой оси. Основываясь на этом предположении, Бозорт также приходит к выводу, что в слабых полях значения восприимчивости по осям [100], [110] и [111] должны относиться, как 6 : 3 : 2.

Представляет интерес рассмотреть вопрос с точки зрения модели процесса намагничивания в слабых полях, как процесса смещения границ между областями спонтанного намагничивания,—модели, которая возникла и получила экспериментальные основания в работах Сикстуса и Тонкса (4) и была далее теоретически развита Беккером (5) и Блохом (6), а также в некоторой своей части в одной из предыдущих работ автора этой статьи(7). Если исходить из этой модели, то в слабых полях, когда спины остаются параллельными осям легкого намагничивания, восприимчивость железа можно разделить на две части *: $\chi_{\parallel} = \frac{I_{\parallel}}{H}$ и $\chi_{\perp} = \frac{I_{\perp}}{H}$, где I_{\parallel} — намагни-

* Следует отметить, что разделение намагничивания в слабых полях на две части: намагничение за счет продольной инверсии спинов и намагничение за счет поперечной инверсии проводилось впервые Акуловым. Однако Акулов рассматривал процесс инверсии спинов с другой точки зрения (не как процесс смещения границ между областями спонтанного намагничивания).

щие спины которых антипараллельны, и I_{\perp} — намагничение, происходящее от смещения границ между областями, результирующие спины которых образуют угол 90° . Чтобы получить формулу для магнитной анизотропии в слабых полях, необходимо рассчитать χ_{\parallel} и χ_{\perp} для произвольного направления в кристалле.

После проведения соответствующих расчетов* была получена справедливая в случае произвольного распределения спинов перед намагничением и произвольного направления намагничения общая формула для начальной восприимчивости χ_0 кристалла:

$$\left. \begin{aligned} \chi_0 &= \chi_{\parallel} + \chi_{\perp}, \chi_{\parallel} = \chi_1 (n_1 h_1^2 + n_2 h_2^2 + n_3 h_3^2), \\ \chi_{\perp} &= \chi_2 [n_1 n_2 (h_1^2 + h_2^2) + n_2 n_3 (h_2^2 + h_3^2) + n_3 n_1 (h_3^2 + h_1^2)], \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где n_1, n_2, n_3 — соответственно относительные объемы участков кристалла, внутри которых спины параллельны или антипараллельны осям легкого намагничения $[100], [010], [001]$, иными словами n_1, n_2, n_3 представляют объемные концентрации различных в магнитном отношении фаз кристалла, h_1, h_2, h_3 — косинусы углов между направлением магнитного поля и этими осями, χ_1, χ_2 — коэффициенты, не зависящие от направления намагничения, при условии, что направления легкого намагничения в отношении распределения внутренних напряжений равноправны (т. е. в каком-нибудь одном направлении легкого намагничения величины напряжений и градиентов напряжений в среднем те же, как и в других направлениях).

Из (1) следует, что при наличии равномерного распределения спинов, т. е. в случае $n_1 = n_2 = n_3$, восприимчивость не должна зависеть от направления поля. Таким образом наличие магнитной анизотропии в кристаллах Вильямса с точки зрения рассматриваемой модели следует объяснить как результат наличия преимущественных ориентаций спинов. Из подсчетов Кая и Такаки⁽⁸⁾, сделанных на основании измерения магнетострикции кристаллов железа, следует, что преимущественная ориентация спинов перед намагничением имеет место. Из результатов Кая и Такаки можно сделать заключение, что в исходном состоянии спины преимущественно ориентировались по тем направлениям легкого намагничения, для которых в образце данной формы размагничивающий фактор имел наименьшее значение. Отсюда следует, что в образцах Вильямса значения n_1, n_2, n_3 едва ли были равны между собой. Весьма возможно, что в образце, вырезанном вдоль направления $[100]$, большая часть спинов была ориентирована параллельно или антипараллельно этому направлению, особенно после того, как образец уже один раз намагничивался. Если имеет место в случае $H \parallel [100]$: $n_1 = 1, n_2 = n_3 = 0$, в случае $H \parallel [110]$ $n_1 = n_2 = \frac{1}{2}, n_3 = 0$ и в случае $H \parallel [111]$ $n_1 = n_2 = n_3 = \frac{1}{3}$, т. е. если имеет место наибольшая преимущественная ориентация, из (1) следует, что восприимчивости в этих случаях должны относиться, как $6 : 3 + \frac{3}{2} \frac{\chi_1}{\chi_2} : 2 + \frac{4}{3} \frac{\chi_1}{\chi_2}$. Если $\chi_2 \ll \chi_1$, то это дает отношение $6 : 3 : 2$.

Есть основания предполагать, что I_{\parallel} является полностью или в значительной мере необратимым. Если это так, то начальная обратимая восприимчивость кристалла Вильямса в направлении $[100]$ должна быть

* Расчет χ_{\parallel} производится на основе формул (7) и (8), выведенных в предыдущей работе (7). Расчет χ_{\perp} производится в общем тем же способом, что и расчет χ_{\parallel} , произведенный Беккером для частного случая, когда намагничение параллельно оси легкого намагничения и при упрощающем предположении, что имеет место равномерное распределение спинов по направлениям легкого намагничения (у Беккера два взаимно перпендикулярных направления).

весьма мала по сравнению с необратимой частью начальной восприимчивости (до сих пор предполагалось, что начальная восприимчивость равна начальной обратимой восприимчивости). В связи с изложенным измерение обратимой восприимчивости этих кристаллов представляло бы большой интерес.

Институт физики.
Московский гос. университет.

Поступило
9 I 1938.

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ H. J. Williams, Phys. Rev., **52**, 747, 1004 (1937). ² N. Akulov, ZS. f. Phys., **69**, 78 (1931). ³ R. M. Bosorth, Journ. App. Phys., **8**, 575 (1937). ⁴ K. J. Sixtus a. L. Tonks, Phys. Rev., **37**, 930 (1931); **42**, 419 (1932); **43**, 70, 931 (1933). ⁵ R. Becker, Phys. ZS., **33**, 905 (1932). ⁶ F. Bloch, ZS. f. Phys., **74**, 295 (1932). ⁷ E. Kondorsky, Phys. ZS. d. Sow., **11**, 597 (1937). ⁸ S. Kaya. H. Takaki, Journ. Hokkaido Univ., (2), **1**, 227 (1935).