

**"ПРЕЖДЕВРЕМЕННОЕ" ИСЧЕЗНОВЕНИЕ РЕЗОНАНСА
В ЛЕГКООСНОЙ ФАЗЕ ГЕМАТИТА**

О.В.Миронов, В.И.Ожогин, Е.Г.Рудашевский, В.Г.Шапиро

Увеличение интереса к свойствам антиферромагнитного $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ (гематит) за последние три-четыре года вызвано обнаружением в нём при $T < T_M = 260^\circ\text{K}$ магнитного фазового перехода, индуцируемого

внешним магнитным полем, перпендикулярным к оси легкого намагничивания подрешеток [1,2]. Подобный переход должен иметь место во всех легкоосных антиферромагнетиках, в которых вектор Дзялошинского β параллелен легкой оси [3-5]. Он сопровождается изменением вида кривой намагничивания $m_{\perp}(H_{\perp})$ при некотором критическом значении внешнего магнитного поля $H_{\perp} = H_{\perp}^{\text{II}}$ и, согласно расчетам, обращением в нуль одной из частот антиферромагнитного резонанса [6-8].

В гематите, как было замечено на основании статических измерений [9,10], этот переход обладает интересной особенностью. При низких температурах ($\sim 77^{\circ}\text{K}$) по своему характеру он близок к фазовому переходу второго рода; в поле $H_{\perp} = H_{\perp}^{\text{II}}$ наблюдается скачок величин dm_{\perp}/dH_{\perp} , но не самого магнитного момента m_{\perp} . С повышением температуры резкость аномалии $m_{\perp}(H_{\perp})$ при $H_{\perp} = H_{\perp}^{\text{II}}$ увеличивается, а совсем близко от температуры Морина T_M возрастание m_{\perp} в поле перехода происходит скачком [1], при этом, как прямо показывается с помощью эффекта Мёссбауэра [11], оно сопровождается скачкообразным изменением направления оси антиферромагнетизма (т.е. вектора $\ell = M_1 - M_2$, где M_1 и M_2 — намагниченности подрешеток) от некоторого критического θ_K до $\theta = 90^{\circ}$ (θ угол между антиферромагнитным вектором ℓ и легкой осью кристалла $OZ \parallel C_3$). Рост θ от 0 до θ_K с увеличением H_{\perp} от 0 до H_{\perp}^{II} происходит плавно.

Представляло существенный интерес изучить влияние описанных изменений характера фазового перехода в гематите на его динамические свойства. С этой целью нами предпринято изучение температурного изменения резонансного поглощения в гематите в магнитном поле, перпендикулярном к легкой оси кристалла. Этот резонанс был предсказан в [6] и [8] и экспериментально обнаружен в [8]. Измерения выполнены на отражательных радиоспектрометрах ($\nu = 37,7 \text{ Гц}$) с использованием как импульсного ($H_{\text{max}} = 250 \text{ кэ}$ [8]), так и постоянного ($H_{\text{max}} = 110 \text{ кэ}^*$) магнитного поля. Образцы $\alpha - \text{Fe}_2\text{O}_3$ помещались в волновод таким образом, чтобы постоянное (импульсное) поле и параллельное ему СВЧ-поле располагались в базисной плоскости кристалла. Исследовались монокристаллические образцы размером $1 \times 3 \times 3 \text{ мм}$, выращенные в Институте Общей и Неорганической химии АН СССР (образец № 1) и в Институте Кристаллографии АН СССР (образец № 2).

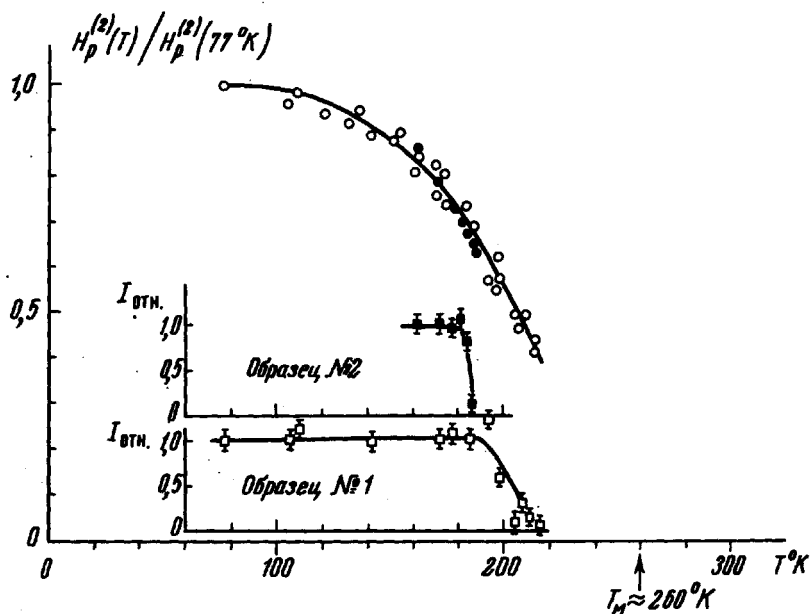
Картина резонансного поглощения в образце № 1 (два близко расположенных пика при $H_{\perp} = H_{\perp}^{(1)}$ и $H_{\perp} = H_{\perp}^{(2)}$) в приборе с импульсным полем при всех исследованных температурах ($T = 77 + 250^{\circ}\text{K}$) почти не отличались от приведенной в [8,12] для $T = 77^{\circ}\text{K}$. На спектрометре с постоянным полем линии поглощения в образце № 2 имели аналогичный вид.

Как и ожидалось, с повышением температуры резонансное поле уменьшается. На рисунке приведены температурные зависимости относительного резонансного поля (измеренного нами для определенности в месте

* Установка для получения сильных магнитных полей Лаборатории колебаний Физического института АН СССР.

расположения второго, высокопольного пика поглощения) для обоих образцов. Абсолютные значения резонансных полей с точностью до ошибок измерений совпадают: $H_p^{(2)}(160^\circ\text{K}) = 109 \pm 4 \text{ кэ}$.

Наиболее интересным экспериментальным фактом, обнаруженным на обоих образцах, является неожиданное резкое исчезновение резонансного поглощения значительно ниже температуры Морина. Это четко иллюстрируется температурной зависимостью относительной интенсивности линии резонансного поглощения (определяемой по максимальной высоте одного из пиков) — см. рис. Температуры полного исчезновения линий резонансного поглощения несколько различаются для монокристаллов



Температурная зависимость резонансного поля $H_p^{(2)}$ и интенсивности $I_{\text{отн}}$ линии АФМР в монокристаллическом гематите в интервале $77 + 250^\circ\text{K}$. Рабочая частота $37,7 \text{ Гц}$. Магнитное поле $H_L \perp C_3$; $h_{\text{свч}} \parallel H_L$: светлые кружки и квадраты — соответственно $H_p^{(2)}(T)/H_p^{(2)}(77^\circ\text{K})$ и $I_{\text{отн}}(T)$ для образца № 1 (импульсное поле); темные кружки и квадраты — то же для образца № 2 (постоянное магнитное поле)

разного происхождения. Исчезновение резонанса происходит в области температур, где, согласно статическим данным [10], с точностью до ошибок измерений скачки намагниченности $m_L(H_L)$ не обнаруживаются (что позволяло ранее трактовать указанный переход, как фазовый переход второго рода [9]). Но, по-видимому, исчезновение резонанса связано со скачкообразным переходом z -компоненты вектора антиферромагнетизма ℓ в базисную плоскость кристалла (фазовый переход первого рода). Этот переход вызывает малое изменение $m_L(H_L)$, которое трудно обнаружить экспериментально с помощью статических измерений при $T < T_M$, но приводит к качественному изменению спектра антиферро-

магнитного резонанса (АФМР), так как эта же компонента ℓ_z входит в формулу для частоты резонанса в перпендикулярном к легкой оси кристалла внешнем магнитном поле и справедливую в первом приближении (т.е. с учетом только членов второго порядка) в выражении для магнитной энергии кристалла. Поэтому можно предположить наличие в нижней ветви спектра АФМР щели, которая, по-видимому, растет с температурой. В этом случае резонансное поглощение исчезает, когда величина щели сравнивается с рабочей частотой.

Скачкообразность перехода между фазами " $\ell_z \neq 0$ " и " $\ell_z = 0$ ", индуцируемого в гематите внешним магнитным полем, перпендикулярным к легкой оси кристалла, может быть объяснена, например, учетом "второй константы анизотропии" [11,13]. Другие взаимодействия более высокого порядка, чем второй, в принципе также могут приводить к скачку при переходе между фазами [14], однако сравнение их относительной роли в конкретном случае гематита требует специального исследования.

Мы глубоко признательны И.К.Кикоину и А.М.Прохорову за постоянный интерес к этим исследованиям и искренне благодарим А.С.Боровика-Романова и Р.З.Левитина за плодотворное обсуждение. Авторы выражают глубокую благодарность В.М.Скорикову и Р.А.Восканяну за любезно предоставленные монокристаллы и В.Г.Веселаго и Л.П.Максимову за научную и методическую помощь при работе в сильных магнитных полях.

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

Поступило в редакцию
9 апреля 1968 г.

Литература

- [1] J.Kaezer, T.Shalnikova. Proc. Int. Conf. on Magnetism, Nottingham, 1964.
- [2] T.Kaneko, S.Abe. J. Phys. Soc. Japan, 20, 2001, 1965.
- [3] В.И.Ожогин. ЖЭТФ, 45, 1687, 1963.
- [4] В.И.Ожогин. Диссертация, Институт Атомной Энергии, Москва, 1965.
- [5] G.Cinader, S.Shtrikman. Sol. St. Comm., 4, 459, 1966.
- [6] G.Cinader. Phys. Rev., 155, 453, 1967.
- [7] V.I.Oznogin. Int. Congr. on Magnetism, Boston. DI-6, 1967.
- [8] В.И.Ожогин, В.Г.Шапиро. Письма ЖЭТФ, 6, 467, 1967.
- [9] P.Novotny, J.Kaczer. 10-я Международная конференция по физике низких температур, Москва, 1966.
- [10] Р.А.Восканян, Р.З.Левитан, В.А.Щуров. ЖЭТФ, 53, 459, 1967.
- [11] G.Cinader, P.J.Flanders, S.Shtrikman. Phys. Rev., 162, 419, 1967.
- [12] В.И.Ожогин, В.Г.Шапиро. ЖЭТФ, 54, 96, 1968.
- [13] Р.З.Левитин, В.А.Щуров. Письма ЖЭТФ, 7, 142, 1968.
- [14] S.Jacobs. Techn. Docum. Report, № ML-TDR-64-58, p.22, 1964.