

СПЕКТРОСКОПИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОМЕЖУТОЧНОГО СОСТОЯНИЯ В АНТИФЕРРОМАГНИТНОМ MnF_2

А. А. Мильнер, Ю. А. Попков, В. В. Еременко

Хорошо известно, что кристалл MnF_2 в достаточно сильном магнитном поле ($H_K \approx 92$ кэрс), направленном вдоль тетрагональной оси, претерпевает фазовый переход с опрокидыванием магнитных моментов подрешеток в базисную плоскость [1]. Детальные магнитные измерения [2] показали, что в узком интервале углов между направлением магнитного поля и легкой осью кристалла (c_4), не превышающем $0,4^\circ$, опрокидывание подрешеток имеет характер фазового перехода первого рода и сопровождается расслоением на домены с различной величиной продольной составляющей намагниченности, что согласуется с результатами теоретических исследований [3].

Поскольку вопрос о существовании промежуточного состояния в антиферромагнетиках имеет принципиальный характер, представляет интерес наблюдение его другим независимым способом. Настоящая работа посвящена спектроскопическому изучению этого явления. Идея метода основана на том, что спектр поглощения кристалла MnF_2 при опрокидывании магнитных подрешеток претерпевает резкие изменения в области ${}^6A_{1g}({}^6S_{5/2}) - {}^4T_{2g}({}^4D)$ – перехода, проявляющиеся, в основном, в изменении спектрального положения большинства полос D-группы [4 – 6]. Для исследования была выбрана наиболее изолированная в спектре полоса поглощения D_1 , частота которой в нулевом по-

ле равна 28024 см^{-1} , а при магнитном фазовом переходе смещается на 52 см^{-1} в более коротковолновую область. Схематично ее поведение показано на верхней части рис. 1. Полуширина этой полосы равна 10 см^{-1} , а коэффициент поглощения в максимуме — $8,2 \text{ см}^{-1}$. Измерялась интенсивность прошедшего через образец света на длинах волн, соответствующих максимуму поглощения как до (λ_a), так и после (λ_b) опрокидывания подрешеток, а также на длинах волн λ_b , заключенных между λ_a и λ_b .

Свет от ксеноновой лампы ДКСШ-200 проходил через образец вдоль оси C_4 и фокусировался на входную щель спектрографа СТЭ-1, с линейной дисперсией в исследуемой области (3560 \AA) $6,5 \text{ \AA}/\text{мм}$. На выходе спектрографа была установлена подвижная щель, которую с большой точностью можно было перемещать вдоль спектра. Регистрация производилась с помощью фотоумножителя на скоростном двухлучевом осциллографе типа С1-7. Одновременно индукционным методом [1] регистрировалось изменение магнитного момента образца.

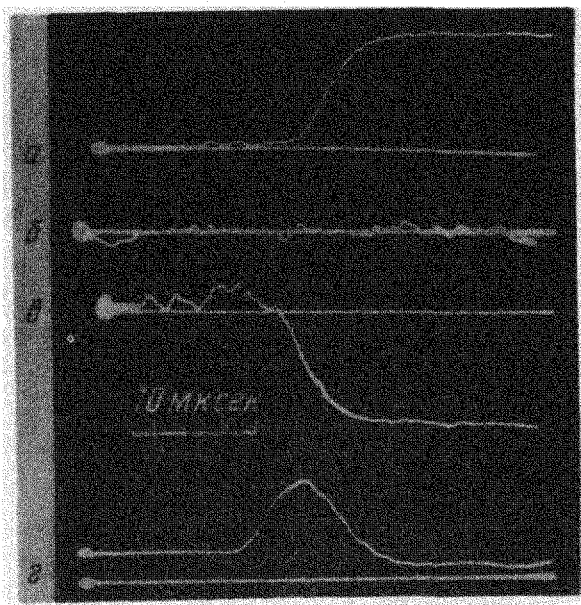
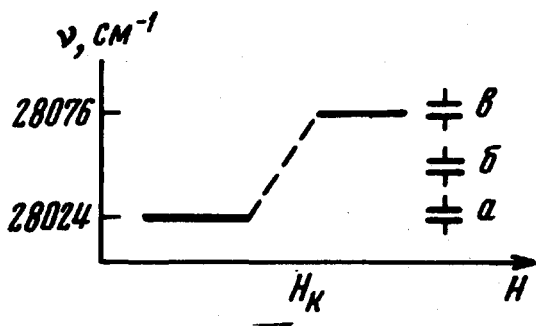


Рис. 1. Изменение интенсивности прошедшего через образец света (кривые $a, б, в$) и магнитного момента образца $dM/dt (z)$ при $H \parallel \bar{c}_4 (\phi = 0)$. Скорость нарастания поля в области H_k равна 235 э/мксек . Вверху схематически показано поведение D_1 -линии поглощения при опрокидывании подрешеток [6] и три положения щели, соответствующие осциллограммам $a, б$ и $в$. Ширина щели — $0,2 \text{ мм}$, $T = 20,4^\circ\text{K}$

Образец фторида марганца представлял собой ориентированный монокристалл толщиной вдоль оси c_4 — $2,7 \text{ мм}$ и размерами в базисной плоскости $5 \times 4 \text{ мм}^2$. Все измерения были проведены при температуре $20,4^\circ\text{K}$, намного меньшей температуры антиферромагнитного упорядо-

чения MnF_2 ($T_N = 68^\circ\text{K}$). Магнитное поле создавалось импульсным соленоидом при разряде через него батареи конденсаторов и достигало напряженности свыше 100 кэ за время 340 мксек . Система юстировки позволяла в процессе измерений ориентировать ось c_4 образца относительно направления магнитного поля с точностью до трех угловых минут.

Результаты измерений при $H \parallel c_4$ приведены на рис. 1. Видно, что при опрокидывании магнитных подрешеток происходит резкое изменение интенсивности прошедшего через образец света. При этом в исходном ($H = 0$) положении D_1 -линии поглощения интенсивность света возрастает (рис. 1, а), а в конечном ($H > H_k$) — падает (рис. 1, в). Существенно, что в процессе перехода поглощение наблюдается на обеих длинах волн одновременно, в то время как на промежуточной длине волны (кривая б) кристалл остается все время прозрачным. Варьирование скорости нарастания магнитного поля в области H_k от 40 до 400 э/мксек приводит к изменению длительности перехода, но не меняет принципиальный вид кривых рис. 1.

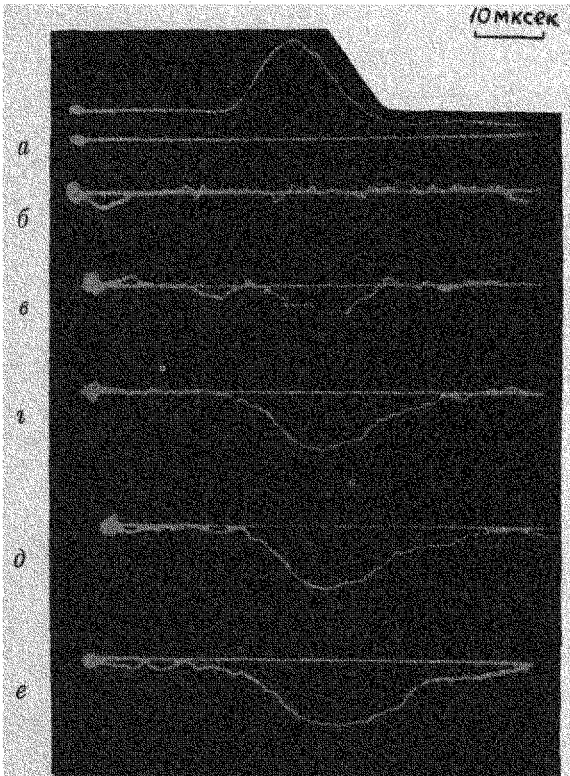


Рис. 2. Изменение магнитного момента образца при $\phi = 0$ (а) и интенсивности света на промежуточной длине волны при различных углах между осью c_4 образца и направлением магнитного поля: б — 0° , в — 7° , г — 21° , д — 42° , е — 56° .

По мере увеличения угла ϕ между осью c_4 образца и направлением внешнего магнитного поля происходит размытие фазового перехода опрокидывания подрешеток. При этом осциллограммы изменения интенсивности света с длинами волн λ_a и λ_b (рис. 1) существенно не меняются. Наиболее интересные результаты связаны с поведением света с некоторой средней длиной волны λ_b (рис. 2), на которой уже при

угле $\phi = 7^\circ$ появляется и при дальнейшем увеличении угла растет поглощение прошедшего через образец света. Величина поглощения достигает насыщения при углах $\phi \sim 20^\circ$, а время его существования соответствует длительности магнитного перехода.

Таким образом, перестройка спектра кристалла MnF_2 в области D-группы полос поглощения при достижении критического значения поля опрокидывания магнитных подрешеток при строгой ориентации его вдоль тетрагональной оси кристалла ($\phi = 0$) происходит скачком, а при отклонении от оси — плавно от λ_a к λ_g . По нашему мнению это однозначно свидетельствует о том, что в строго ориентированном образце опрокидывание подрешеток MnF_2 происходит как фазовый переход первого рода. При этом в узком, но конечном интервале полей в кристалле реализуется промежуточное состояние, когда сосуществуют две фазы — антиферромагнитная ($\vec{k} \parallel c_4$) и с опрокинутыми подрешетками ($\vec{k} \perp c_4$). Наиболее четко о существовании обеих фаз свидетельствует возникновение в окрестности критического поля H_K поглощения света одновременно на двух частотах (длина волн λ_a и λ_g), каждая из которых характерна для одной из фаз (рис. 1). Все эти результаты хорошо согласуются с данными магнитных исследований промежуточного состояния в антиферромагнитном кристалле MnF_2 [2]. Некоторые расхождения (отличие значений критического угла — в наших измерениях $\phi_k \sim 20^\circ$, по данным [2] — $\phi_k \sim 30^\circ$; появление поглощения на средней частоте уже при $\phi = 7^\circ$) обусловлены тем, что форма нашего образца близка к диску, температура более высокая ($20,4^\circ\text{K}$) и форма полос поглощения имеет заметные крылья. Эти детали будут обсуждены в более подробной статье.

В заключение пользуемся случаем искренне поблагодарить К.Л.Дудко и Н.Ф.Харченко за полезные обсуждения.

P.S. После того, как статья была написана, появилась работа (A. R. King, D. Paquette, Phys. Rev. Lett.; 30, 662, 1973), в которой методами спектроскопии оптического поглощения в ЯМР также показано существование промежуточного состояния в MnF_2 и приведены фотографии доменной структуры образца в критическом поле.

Физико-технический институт
низких температур
Академии наук Украинской ССР

Поступила в редакцию
25 мая 1973 г.

Литература

- [1] J. S. Jacobs. J. Appl. Phys., 32, 61S, 1961; 40, 1025, 1969.
- [2] К.Л.Дудко, В.В.Еременко, В.М.Фридман. ЖЭТФ, 61, 678, 1971.
- [3] В.Г.Барьяхтар, А.Е.Боровик, В.А.Попов. Письма в ЖЭТФ, 9, 634, 1969.
- [4] В.В.Еременко, Ю.А.Попков, Ю.Г.Литвиненко. ЖЭТФ, 47, 1733, 1964.
- [5] R.S.Meltzer, L.L.Lohr, J.Chem. Phys., 49, 541, 1968.
- [6] V.V.Eremenko, V.P.Novikov, Yu A. Popkov, V.V.Shapiro, Physica Status Solidi, 33, K47, 1969.