

## ОБНАРУЖЕНИЕ СПОНТАННОГО СКОСА МАГНИТНЫХ ПОДРЕШЕТОК В ГЕКСАГОНАЛЬНОМ АНТИФЕРРОМАГНЕТИКЕ $\text{CsMnF}_3$

*А.А.Мильнер, Ю.А.Попков*

Обнаружено, что соотношение интенсивностей некоторых электродипольных полос поглощения в оптическом спектре  $\text{CsMnF}_3$  обладает гексагональной анизотропией по направлению внешнего поля  $\mathbf{H}$  в базисной плоскости. Полученные результаты свидетельствуют о появлении спонтанного скоса магнитных подрешеток, если магнитные моменты ориентированы вдоль кристаллографического направления  $[100]$ .

Рассмотрение магнитных свойств гексагональных антиферромагнетиков показывает, что в разложении термодинамического потенциа-

ла по степеням  $m$  и  $l$  выше второго порядка, появляются члены, допускающие существование слабого ферромагнитного момента, направленного вдоль оси шестого порядка [1]. Появившиеся недавно сообщения о наблюдении слабого ферромагнетизма в антиферромагнитном  $RbMnCl_3$  (пространственная группа  $D_{6h}^4$ ) [2] явились первым экспериментальным подтверждением этого теоретического вывода. В настоящей работе мы сообщаем о результатах магнитооптических исследований кристалла  $CsMnF_3$ , имеющего такую же симметрию, которые можно объяснить существованием спонтанного слабого скоса магнитных моментов под решеток.

Ранее [3] мы подробно обсуждали особенности поведения оптического спектра поглощения антиферромагнитного  $CsMnF_3$  в магнитном поле. Было, в частности, показано, что поведение частот и интенсивностей большинства полос поглощения, связанных с  ${}^6A_{1g} \rightarrow {}^4A_{1g}, {}^4E_g$ -переходом (так называемая  $C$ -группа полос), позволяет проследивать за величиной скоса магнитных моментов каждой из подрешеток внешним полем. Результаты, необходимые для данной работы, заключаются в следующем. В  $C$ -группе полос поглощения интенсивность электродипольных полос  $C_1$  и  $C_2$ , связанных с оптическим возбуждением нецентросимметричных ионов  $Mn_2^{1)}$ , существенным образом зависит от взаимной ориентации магнитных моментов ионов и электрического вектора света: полоса  $C_1$  наблюдается при  $E \perp M$ , а полоса  $C_2$  — при  $E \parallel M$ . Приложение к образцу внешнего поля приводит к появлению на тех же частотах двух новых полос (назовем их для удобства  $C_1'$  и  $C_2'$ ), интенсивность которых определяется величиной скоса магнитных моментов подрешеток ионов  $Mn_2$ .

В настоящей работе изучалась зависимость интенсивностей полос поглощения  $C_1, C_2, C_1'$  и  $C_2'$  от напряженности и направления, относительно кристаллографических осей, стационарного магнитного поля. Поле  $0 \div 40$  кэ создавалось сверхпроводящим соленоидом гельмгольцевской конструкции. Спектр поглощения регистрировался с помощью спектрографа ДФС-13, на выходе которого устанавливалась либо фотопленка, либо сканирующая с частотой 5 иц щель и фотоумножитель. В первом случае фотографии спектра изучались с помощью микрофотометра МФ-2, приспособленного для записи спектрограмм на самописце, а во втором — сканируемый участок спектра подавался непосредственно на запоминающий осциллограф СЗ-2. Измерения проводились на образцах толщиной 0,55 мм ( $\delta$ -спектры) и 1,7 мм ( $\alpha$ -спектры) в оптическом кристате при температуре 4,2К.

На рис. 1 показаны микрофотограммы участка спектра в частотном интервале  $C_1 - C_2$  при следующей экспериментальной геометрии:  $k \perp C_6, E \perp C_6, H \perp C_6, k$  ( $\sigma$ -спектр). Видно, что если в нулевом поле в спектре присутствуют обе полосы  $C_1$  и  $C_2$  (направления магнитных моментов в базисной плоскости произвольны и средние значения проекций  $M$  вдоль и перпендикулярно  $E$  равны), то с приложением поля вдоль

1) Элементарная ячейка кристалла  $CsMnF_3$  содержит шесть ионов марганца, два из которых ( $Mn_1$ ) расположены в центре симметрии, а четыре ( $Mn_2$ ) — смещены из центра.

оси  $[100]$  уже при малой его напряженности происходит полная переориентация магнитных моментов в однодоменную структуру  $\mathbf{M} \perp \mathbf{H}$ , и из дублета полос  $C_1, C_2$  остается только  $C_1$  ( $\mathbf{E} \perp \mathbf{H}$ ), интенсивность которой, естественно, возрастает. При увеличении напряженности поля когда скос моментов становится заметным (при  $20 \text{ кэ}$  он равен  $3,6^\circ$ , а при  $40 \text{ кэ}$  —  $7,2^\circ$  для подрешеток  $Mn_2 [3]$ ), появляется и возрастает по интенсивности полоса  $C_2'$ . В случае же направления поля вдоль оси  $[120]$  полоса  $C_2'$  присутствует в спектре, начиная с минимальных полей. При увеличении напряженности поля ее интенсивность возрастает, причем быстрее, чем в случае  $\mathbf{H} \parallel [100]$ . Как видно из рис. 1, начальная, при  $\mathbf{H} = 2 \text{ кэ}$ , интенсивность  $C_2'$  при  $\mathbf{H} \parallel [120]$  такая же, как в поле  $\mathbf{H} \approx 25 \text{ кэ}$  при  $\mathbf{H} \parallel [100]$ . На рис. 2 приведены осциллограммы изучаемого участка спектра при  $\mathbf{k} \parallel C_6$  ( $\alpha$ -спектр). Видно, что соотношения интенсивностей полос подчиняются такой же закономерности, как в  $\sigma$ -спектре. Величина поля, в котором интенсивность  $C_2'$  при  $\mathbf{H} \parallel [100]$  достигает ее исходной величины при  $\mathbf{H} \parallel [120]$  также равна  $25 \text{ кэ}$ .

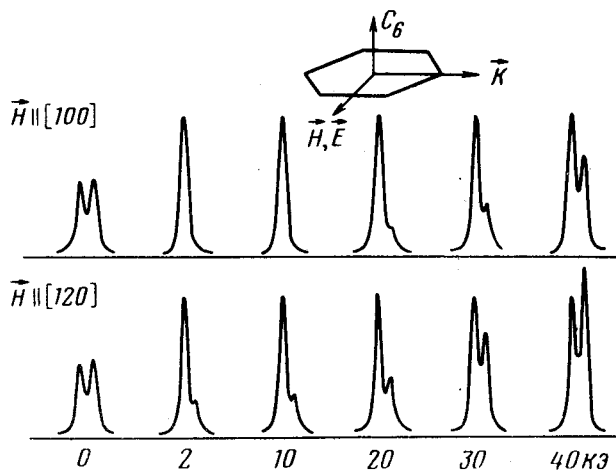


Рис. 1. Зависимость интенсивностей полос поглощения в  $\sigma$ -спектре от величины и направления внешнего магнитного поля. Микрофотограммы

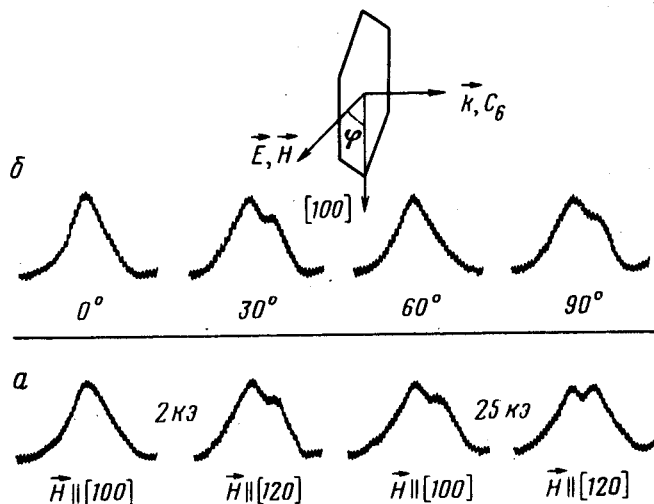


Рис. 2. а — Сравнение соотношения интенсивностей полос  $C_1$  и  $C_2'$  в  $\alpha$ -спектре при различных направлениях  $\mathbf{H}$  в базисной плоскости; б — изменение вида спектра в зависимости от угла  $\phi$  между направлением  $\mathbf{H}$  и выбранной осью  $[100]$  при  $\mathbf{H} = 4 \text{ кэ}$ . Осциллограммы

При вращении образца в поле вид спектра воспроизводится с периодом  $60^\circ$  (рис. 2, б). Отметим, что при переходе к геомет-

рии  $E \perp H$ , и следовательно,  $E \parallel M$ , картина преобразований в спектре симметрично изменяется: в слабом поле остается полоса  $C_2$ , а при возрастании напряженности появляется  $C_1'$ . Относительно поляризационных особенностей полос  $C_1'$  и  $C_2'$  можно сделать такое заключение: аналогично случаю  $C_1$  и  $C_2$ , они оказываются чувствительными к взаимной ориентации векторов  $E$  и  $M$ , причем  $C_1'$  наблюдается при  $E \parallel M$ , а  $C_2'$  — при  $E \perp M$ . Это согласуется с результатами наших измерений в сильных полях (до 300 кэ).

Приведенные экспериментальные результаты позволяют, на наш взгляд, сделать следующий вывод: при расположении магнитных моментов в базисной плоскости вдоль направлений [100] в кристалле возникает спонтанный скос магнитных моментов подрешеток, причем величина его для подрешеток нецентросимметричных ионов  $Mn_2$  такая же, как во внешнем поле 25 кэ, если последнее выстраивает моменты вдоль кристаллографической оси [120]. Как уже отмечалось, теория допускает возможность скоса, причем направлен он должен быть по оси шестого порядка. Казалось бы, последнее утверждение и наши экспериментальные результаты позволяют говорить о величине поля Дзялошинского в кристалле  $H_D \approx 25$  кэ. Мы, однако, воздержимся от этой количественной оценки, которая оказывается правомочной лишь при уверенности, что величины эффективных полей  $H_D$  на подрешетках ионов  $Mn_1$  и  $Mn_2$  равны. Таких данных в настоящее время нет. Более того, тот факт, что магнитостатические и резонансные измерения не обнаруживают ферромагнитного момента в этом кристалле [4, 5] заставляет предполагать, что эти величины существенно не одинаковы. Расчет по данным работы [6] показывает, например, что скос магнитных моментов подрешеток  $Mn_2$  получится таким же, как во внешнем поле 25 кэ, а суммарный момент по всем подрешеткам — нуль, если величины эффективных полей на ионах  $Mn_1$  и  $Mn_2$  положить равными 52 и 14,5 кэ, соответственно.

В заключение выражаем искреннюю благодарность В.В.Еременко за постоянный интерес к работе и полезные советы.

Физико-технический институт  
низких температур  
Академии наук Украинской ССР

Поступила в редакцию  
25 января 1977 г.

### Литература

- [1] Е.А.Туров. Физические свойства магнитоупорядоченных кристаллов, М., Изд. АН СССР, 1963.
- [2] Н.В.Федосеева. Письма в ЖЭТФ, 21, 108, 1975; А.Н.Бажан, Н. В. Федосеева, С.В.Петров. Тезисы докладов 19-го Всесоюзного совещания по физике низких температур, Минск, 1976.
- [3] А.А.Мильнер, Ю.А.Попков. ФНТ, 3, 330, 1977.
- [4] K.Lee, A.M.Portis, G.L.Witt. Phys. Rev., 132, 144, 1963.
- [5] А.С.Боровик-Романов, Б.Я.Котюжанский, Л.А.Прозорова. ЖЭТФ, 58, 1911, 1970.
- [6] Y.Yamaguchi, T.Sakuraba. J.Phys.Soc. of Japan, 38, 1011, 1975.