

МАГНИТНОЕ ДВУЛУЧЕПРЕЛОМЛЕНИЕ В АНТИФЕРРОМАГНИТНОМ MnF_2

А.С.Боровик-Романов, Н.М.Крейнес, М.А.Талалаев

Писаревым, Синим и Смоленским [1] было обнаружено, что в антиферромагнитных кристаллах квадратичны по намагниченности магнито-оптический эф-фект (магнитное двулучепреломление) велик и сравним по величине с линейным эф-фектом (эф-фект Фарадея), наблюдаемым в ферромагнетиках. В работах [1] магнитное двулучепреломление изучалось в ферритах и антиферромагнетиках со слабым ферромагнетизмом. В настоящей работе этот эф-фект обнаружен и изучен в антиферромагнитном кристалле MnF_2 . MnF_2 является хорошо изученным тетрагональным антиферромагнетиком с $T_N = 66,9^\circ K$. Намагниченность подрешеток (вектор \vec{T}) в нем направлена вдоль оси четвертого порядка (ось z на рис. 1).

Эксперимент проводился на длине волны $\lambda = 6328 \text{ \AA}$ вдали от полос поглощения в этом веществе. Линейнополяризованный свет с волновым вектором \mathbf{k} от He-Ne-лазера падал на кристалл вдоль оси x (см. рис. 1). Вектор поляризации света (\mathbf{E}) направлен под углом 45° к оси z в плоскости yz . Возникающее в кристалле изменение разности ходов обыкновенного и необыкновенного лучей компенсируется и измеряется с помощью стоящего его после кристалла компенсатора Берекса. Измерения производились в широком интервале температур $1,5 + 300^\circ\text{K}$. Температура измерялась термопарой золото (с добавкой железа) — хромель, приклеенной к образцу, и поддерживалась с точностью до $0,1 - 0,2^\circ\text{K}$.

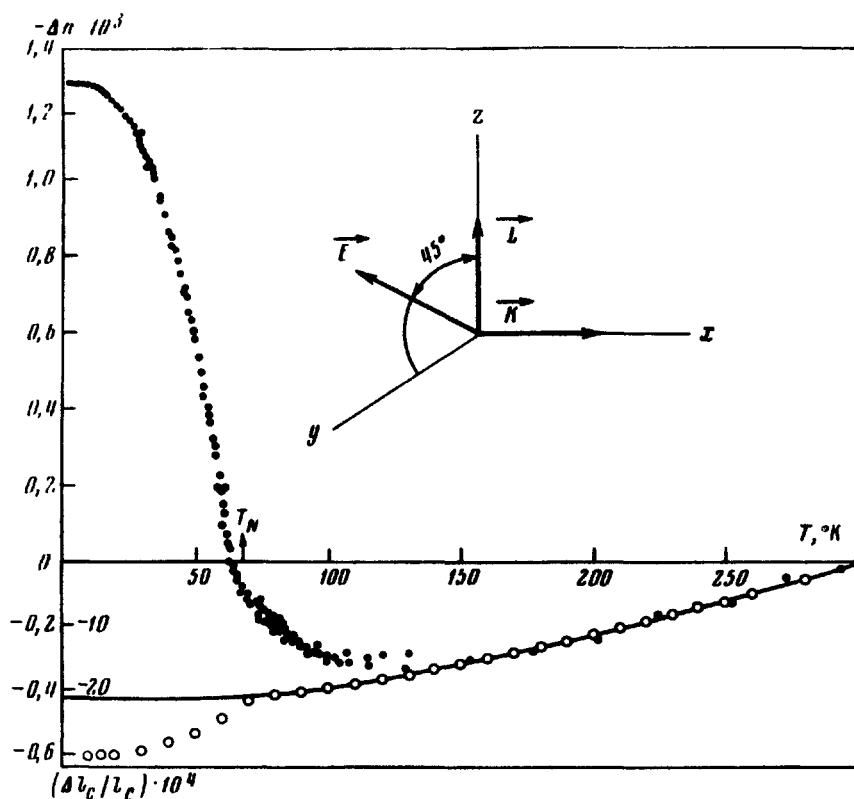


Рис. 1

При 300°K разность показателей преломления необыкновенного и обыкновенного луча в MnF_2 $n_e - n_o = 0,026^{1)}$. Нами измерялось изменение этой величины (Δn) с понижением температуры от 300°K .

На рис. 1 представлены основные экспериментальные результаты. Из этого рисунка видно, что от 300 до 100°K величина $n_e - n_o$ изменяется незначительно, а в районе T_N она начинает резко меняться. Максимальное значение $\Delta n = 1,5 \cdot 10^{-3}$, что составляет приблизительно 5% от величины естественного двулучепреломления. Следует отметить, что Δn в MnF_2 на один — два порядка больше, чем в веществах, содержащих только магнитные ионы железной группы, изученных в работах [1]. Это anomalous поведение Δn естественно связать с возникновением антиферромагнитного упорядочения в кристалле.

¹⁾ Авторы благодарны В.И.Буркову за предоставление этих данных.

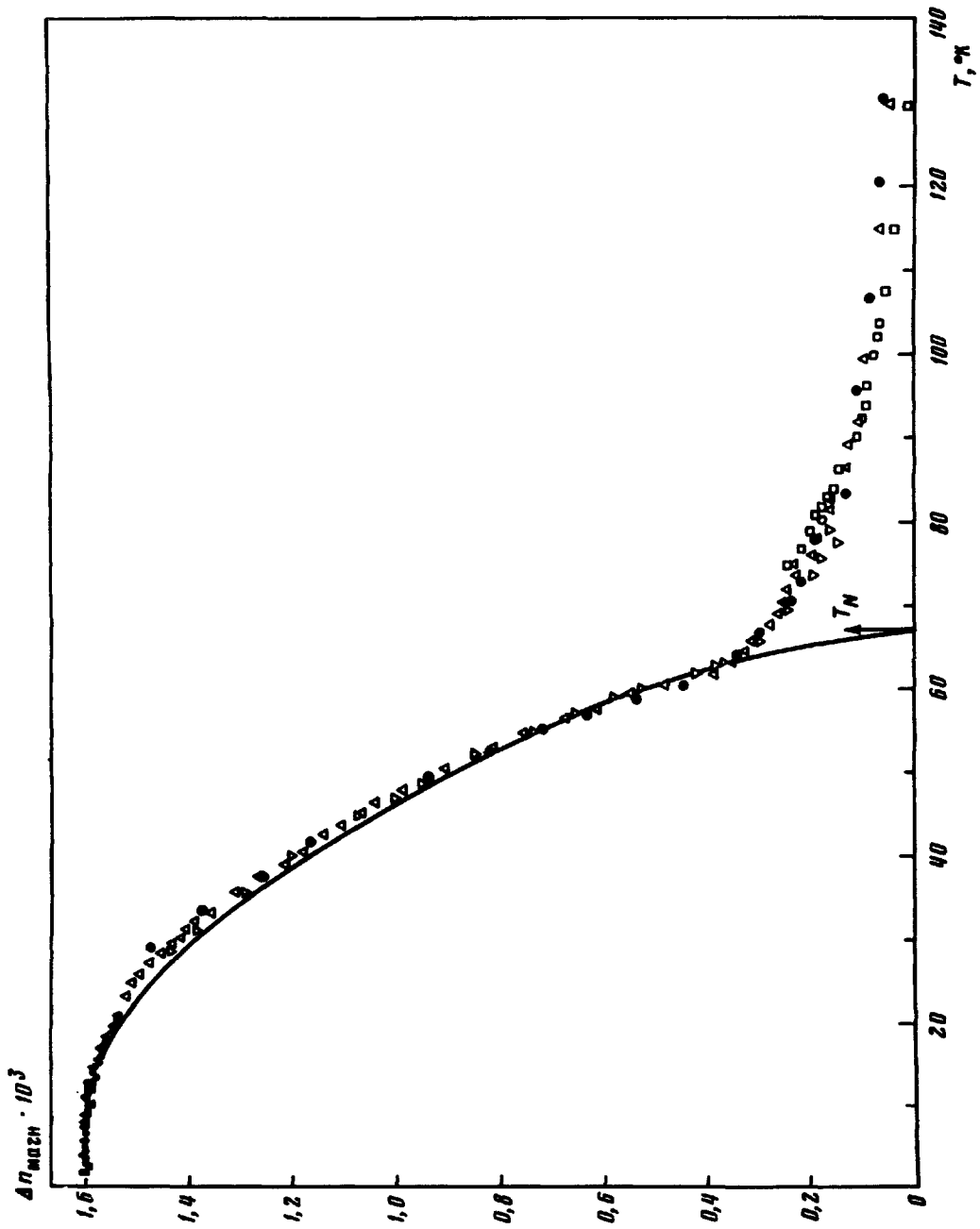


Рис. 2

Однако, причиной такого поведения может быть как непосредственно магнитное двулучепреломление, так и изменение коэффициентов преломления, связанное со спонтанной стрикцией, возникающей в кристаллах при магнитном упорядочении (см., например, [2]). Поскольку этот вопрос до сих пор еще не был решен однозначно, мы провели сравнение наших экспериментальных результатов с имеющимися в литературе данными [3] по температурной зависимости относительного удлинения ($\Delta l/l$) в MnF_2 . Из [3] следует, что величина $\Delta l/l$ вдоль оси второго порядка (x) практически равна нулю. Данные для $\Delta l/l$ вдоль оси четвертого порядка из [3] в соответствующем масштабе нанесены на рис. 1. Температурный ход кривых $\Delta l(T)$ и $\frac{\Delta l}{l}(T)$ в районе $150 - 300^\circ K$ очень хорошо

совпадает. В T_N мы видим дополнительное изменение $\Delta l/l$, вызванное спонтанной стрикцией, однако знак этого эффекта противоположен знаку изменения Δl . Кроме того, величина спонтанной стрикции такого же порядка как и температурное изменение $\Delta l/l$ в области от 300 до $100^\circ K$; изменение же Δl при возникновении магнитного упорядочения приблизительно в 5 раз больше, чем температурное изменение от 300 до $100^\circ K$. На наш взгляд проведенное сравнение однозначно говорит в пользу того, что наблюдаемый нами рост Δl является непосредственно магнитным двулучепреломлением.

Для выделения чисто магнитного двулучепреломления мы экстраполировали в низкие температуры немагнитную часть кривой $\Delta l(T)$, считая, что она пропорциональна немагнитной части $\frac{\Delta l}{l}(T)$. В качестве экстраполяционной формулы мы воспользовались формулой Грюнайзена, считая, что

$$\frac{\Delta l}{l} = \frac{l_T - l_{300^\circ}}{l_{300^\circ}} = K \left[\int_0^T C_D dT - \int_0^{300^\circ} C_D dT \right]. \quad (1)$$

В качестве C_D использовалась функция Дебая, рассчитанная для $\theta = 455^\circ K$, которая хорошо совпала с экспериментальными значениями для теплоемкости [4] в районе температур $150 - 300^\circ K$. Коэффициент K в формуле (1) определялся сравнением с экспериментальной кривой $\frac{\Delta l}{l}(T)$ в области $150 - 300^\circ K$.

Рассчитанная по формуле (1) кривая показана на рис. 1 сплошной линией. Разность между экспериментальной кривой и расчетной, представляющая температурную зависимость магнитного двулучепреломления, изображена на рис. 2.

Согласно теоретическим представлениям [1, 5, 6] в антиферромагнетике величина $\Delta n_{\text{магн}}$ должна быть пропорциональна среднему значению от квадрата намагниченности подрешеток. Наиболее точные измерения температурной зависимости намагниченности подрешеток M были получены для MnF_2 из измерений ядерного магнитного резонанса (ЯМР) [7]. Сравнение полученных в этой работе значений $M^2(T)$, приведенных к нашим экспериментальным значениям в гелиевой ванне (сплошная кривая на рис. 2), с $\Delta n_{\text{магн}}$ показывает хорошее совпадение данных в широкой области температур, подтверждающее соотношение $\Delta n_{\text{магн}} \sim \langle M^2 \rangle$. Однако, вблизи T_N значения Δl сильно

отклоняются от значений M^2 , полученных из ЯМР. $\Delta n_{\text{магн}}$ обращается в нуль только при $T = 120 + 130^\circ\text{K}$, в то время как $M_{\text{ЯМР}}^2 = 0$ при $T = T_N = 66,0^\circ\text{K}$. Такое anomальное поведение $\Delta n_{\text{магн}}$ с температурой объясняется, по-видимому, взаимодействием света с флуктуациями магнитного момента, возникающими выше T_N . Эти флуктуации не удается наблюдать в опытах по АФМР [8] и ЯМР [7], так как период колебаний электромагнитной волны в этих случаях на несколько порядков больше времени жизни отдельной флуктуации. В опытах со светом эти времена сравнимы по величине, поэтому наличие в кристалле таких флуктуаций приводит к изменению его показателя преломления.

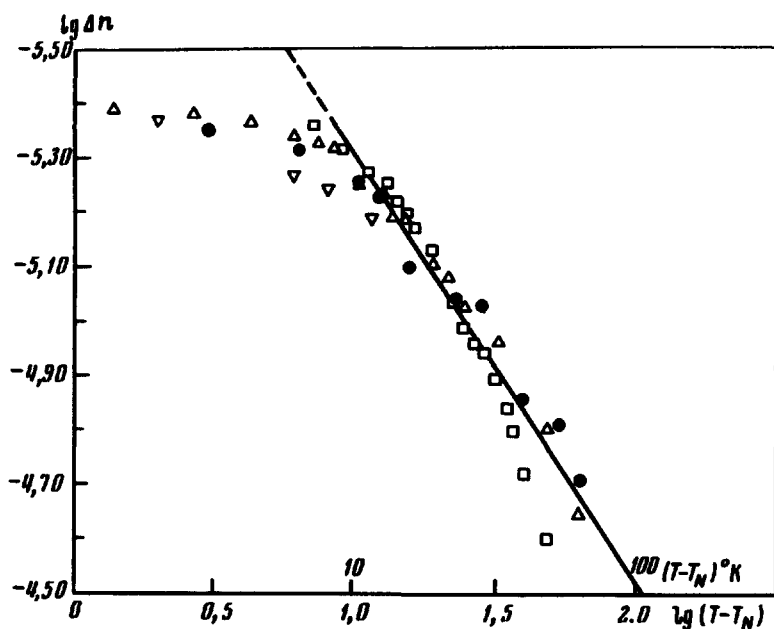


Рис. 3

На рис. 3 приведены наши результаты для температур выше T_N . Из рисунка видно, что при $T - T_N > 10^\circ\text{K}$ $\Delta n_{\text{магн}}$ изменяется по степенному закону:

$$\Delta n_{\text{магн}} = \sigma / (T - T_N)^{(0,79 \pm 0,1)}. \quad (2)$$

В заключение приносим благодарность П.Л.Капице за интерес к работе. Авторы сердечно благодарят С.В.Петрова, изготовившего кристаллы MnF_2 , и С.М.Елагина за помощь при проведении экспериментов.

Институт
физических проблем
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
17 декабря 1970 г.

Литература

- [1] Р.В.Писарев, И.Г.Синий, Г.А.Смоленский. Письма в ЖЭТФ, 9, 112, 1969; Письма в ЖЭТФ, 9, 294, 1969.
 - [2] J.F.Dillon, J.P.Remeika, C.R.Statton. J.Appl. Phys., 14, 4613, 1970.
 - [3] D.F.Gibbons. Phys. Rev., 115, 1194, 1959.
 - [4] J.W.Stout, H.E.Adams. JACS, 64, 1535, 1942.
 - [5] H.Le Gall. Proc. of the Intern. Conf. on Magnetism, Grenoble, 1970.
 - [6] Y.Tanabe, T.Mariya, S.Sugano. Phys. Rev. Lett., 15, 1023, 1965.
 - [7] V.Jaccarino, L.R.Walker. J.Phys. Rad. 20, 341, 1959; P.Heller, C.B.Benedek. Phys. Rev. Lett., 8, 428, 1962; V.Jaccarino. Magnetism II A, Academic Press New York - London, 1965.
 - [8] F.M.Johnson, A.H.Nethercott. Phys. Rev., 114, 705, 1959.
-