

ДВУХМАГНОННОЕ РАССЕЯНИЕ СВЕТА В АНТИФЕРРОМАГНИТНОМ KMnF_3

Ю.А.Цопков, В.И.Фокин, Б.В.Безносиков

Экспериментальное изучение комбинационного рассеяния света в магнитоупорядоченных веществах, рассмотренное впервые теоретически Бассом и Кагановым в 1959 году [1], стало возможно лишь с развитием квантовой электроники и появлением мощных источников монохроматического излучения – лазеров. Несмотря на то, что со времени первого эксперимента [2] прошло всего четыре года, метод рассеяния света получил широкое применение для изучения энергетического спектра магнитных кристаллов. Достаточно указать на обнаружение рассеяния света с возбуждением двух магновов граничной энергии [2, 3], исследование локализованных магнитных состояний в примесных антиферромагнетиках [4, 5], доказательство магнон-магнонных взаимодействий в магнитодиэлектриках [6]. Так же как и при изучении фононного спектра вещества, метод комбинационного рассеяния на спиновых волнах удачно дополняет инфракрасные и субмиллиметровые измерения, а в ряде случаев и единственно возможен. Так, например, из-за высокой симметрии в антиферромагнитных кристаллах со структурой перовскита двухмагнонное поглощение сильно ослаблено и не наблюдается [7], а интенсивность аналогичного процесса в комбинационном рассеянии такая же, как и в кристаллах более низкой симметрии [6].

В настоящей работе сообщаются результаты исследования рассеяния света в антиферромагнитном кристалле KMnF_3 ($T_N = 88^\circ\text{K}$). Измерения были проведены с помощью линии излучения 4880 \AA аргонового лазера типа ЛГ – 106 мощностью 1 вт. Рассеянный под прямым углом свет проходил через поляризатор и фокусировался на входной щели спектрофотометра ДФС – 12 с дисперсией $5 \text{ \AA}/\text{мм}$. Приемником излучения служил охлаждаемый в специальном дьюаре фотоумножитель. Регистрация производилась с помощью схемы счета фотонов. Детали экспериментальной установки опубликованы ранее [8].

Монокристаллы KMnF_3 , выращенные методом Бриджмена [9], ориентировались рентгенографически и затем вырезались в виде прямоугольных параллелепипедов. Измерения были проведены на двух образцах (средний линейный размер около 4 мм) с направлением ребер вдоль $[001]$, $[010]$, $[100]$ и $[001]$, $[110]$, $[110]$ направлений, соответственно, в температурном интервале $20 - 300^\circ\text{K}$. Температура образцов контролировалась медь-константановой термопарой.

Теоретически двухмагнонное рассеяние (и поглощение) света в антиферромагнетиках с учетом магнон-магнонных взаимодействий рассмотрено недавно Эллиотом и Торпом [7]. Гамильтониан для кристаллов структуры перовскита (RbMnF_3 , KMnF_3) в пренебрежении спин-орбитальным взаимодействием имеет вид:

$$\mathcal{H} = \sum_{\mathbf{R}, \mathbf{r}} [B_3(\mathbf{E} \cdot \mathbf{r})(\mathbf{E}' \cdot \mathbf{r}) + (B_1 - \frac{1}{3}B_3)(\mathbf{E} \cdot \mathbf{E}')] S_{\mathbf{R}} S_{\mathbf{R} + \mathbf{r}} .$$

Здесь E и E' – электрический вектор падающего и рассеянного света, g – единичный вектор в направлении между ближайшими соседями из противоположных подрешеток, а B_1 и B_3 – коэффициенты, преобразующиеся по представлениям Γ_1^+ и Γ_3^+ , соответственно. Конкретный вид этих коэффициентов зависит от природы взаимодействия спиновой системы со светом. В работе [7] вычислена ожидаемая форма линии двухмагнного рассеяния методом функций Грина для иона Mn^{2+} ($S = 5/2$). Характерным отличием Γ_1^+ моды от Γ_3^+ является ее не резонансный характер.

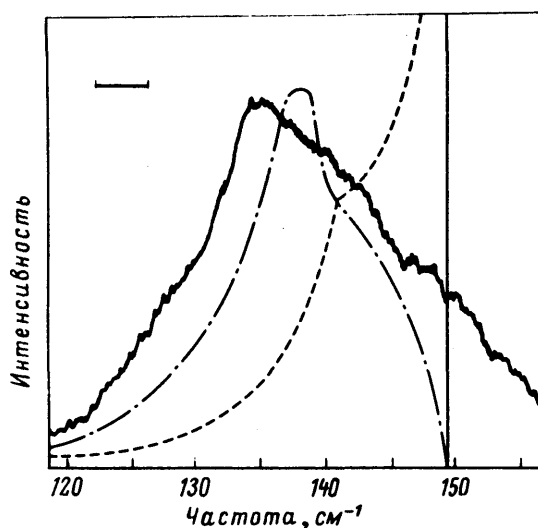


Рис. 1. Экспериментальное (при 20°K) и теоретическое двухмагнное рассеяние в $KMnF_3$. Спектральная ширина щели 4 см^{-1} . E и E' параллельны $[001]$

Экспериментально исследованный спектр двухмагнного рассеяния света в антиферромагнитном кристалле $KMnF_3$ приведен на рис. 1, а температурная зависимость положения максимума полосы – на рис. 2. Следует заметить, что форма, спектральное положение и интенсивность полосы одинаковы для двух изученных кристаллов различной ориентации с $E \parallel E' \parallel [001]$ или $[110]$ и $E \parallel [110]$, $E' \parallel [110]$. Интенсивность α_{zx} спектра существенно слабее, чем α_{zz} , хотя полной поляризации полосы мы не получили в отличие от $RbMnF_3$, двухмагнное рассеяние света в котором было изучено для сравнения. Эти результаты свидетельствуют о том, что в рассеянном свете присутствует только Γ_3^+ мода. Абсолютная интенсивность двухмагнного рассеяния света в $KMnF_3$ такая же как и в $RbMnF_3$, т. е. составляет примерно $10^{-12}\text{ см}^{-1}\cdot\text{рад}^{-1}$.

На рис. 1 приведены расчетные кривые ожидаемой формы линии двухмагнного рассеяния без учета взаимодействия между магнонами (пунктирная кривая) и при учете его (штрих-пунктирная кривая). Интенсивность в максимуме теоретической кривой нормализована к экспериментальной. Хорошее согласие расчета и эксперимента свидетельствует в пользу развитой в работе [7] теории с учетом магнон-магнных взаимодействий. Полученное нами значение максимальной энергии магнонов в $KMnF_3$ 75 см^{-1} отлично согласуется с результатами изучения спектра спиновых волн по неупругому рассеянию нейтронов [10].

Проведенные ранее измерения двухмагнного рассеяния в антиферромагнитных кристаллах $RbMnF_3$ [6] и $KNiF_3$ [11] привели к почти полному совпадению экспериментальных данных с расчетом. Здесь следует заметить, что

кубическая структура кристаллов RbMnF_3 и KNiF_3 не меняется до самых низких температур, а KMnF_3 по мере охлаждения претерпевает ряд фазовых превращений [12]: при 184°K — в орторомбическую фазу, а в районе точки магнитного упорядочения ($T_N = 88^\circ\text{K}$) симметрия кристалла понижается до моноклиной. Эти искажения, слабо по-видимому, влияющие на спин-волновой спектр KMnF_3 ,

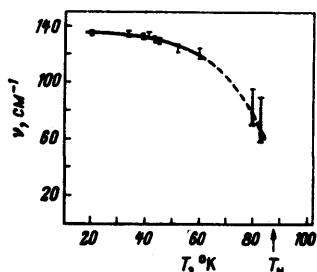


Рис. 2. Зависимость спектрального положения максимума двухмагнонного рассеяния от температуры

приводят к разрешению комбинационного рассеяния первого порядка на фонах и появлению в рассеянном спектре ряда линий, в том числе и в непосредственной близости к полосе двухмагнонного рассеяния, что приводит к ее уширению. По той же причине не удается изучить зависимость полуширины двухмагнонного пика от температуры. Подробно рассеяние света на оптических фонах будет рассмотрено в другом месте, здесь лишь укажем частоты появляющихся при охлаждении кристалла добавочных линий: 27, 49, 108, 117, 158, 170, 230 и 252 см^{-1} при 20°K .

В заключении выражаем искреннюю благодарность В.В.Еременко за постоянный интерес к работе, советы и обсуждение и Л.Т.Харченко за помощь при подготовке эксперимента.

Физико-технический институт
низких температур
Академии наук Украинской ССР

Поступила в редакцию
16 марта 1970 г.

Литература

- [1] Ф.Г.Басс, М.И.Каганов. *ЖЭТФ*, 37, 1390, 1959.
- [2] P.A.Fleury, S.P.S.Porto, L.E.Cheesman, H.J.Guggenheim. *Phys. Rev. Lett.*, 17, 84, 1966.
- [3] P.A.Fleury, S.P.S.Porto, R.Loudon. *Phys. Rev. Lett.*, 18, 658, 1967.
- [4] P.Moch, G.Parisot, R.E.Dietz, H.J.Guggenheim, *Phys. Rev. Lett.*, 21, 1596, 1968.
- [5] A.Oseroff, P.S.Pershan. *Phys. Rev. Lett.*, 21, 1593, 1968.
- [6] P.A.Fleury, *Phys. Rev. Lett.*, 21, 151, 1968.
- [7] R.J.Elliott, M.F.Thorpe. *J.Phys. C (Solid State Physics)*, 2, 1630, 1969.
- [8] В.И.Кутько, Б.И.Фомин, Н.М.Нестеренко, А.И.Звягин, Ю.А.Попков. *Труды ФТИНТ АН УССР*, вып. 4, стр. 203, 1969.
- [9] Б.В.Безносиков, Н.В.Безносикова. *Кристаллография*, 13, 188, 1968.

- [10] S.J.Pickart, M.F.Collins, C.G.Windsor J.Appl. Phys., 37, 1054, 1966.
- [11] S.R.Chinn, H.J.Zeiger, J.R.O'Connor. Доклад на 15 Национальной конференции по магнетизму (США, ноябрь 1969 г.)
- [12] O.Beckman, K.Knox. Phys. Rev., 121, 376, 1961.
-