

РАССЕЯНИЕ СВЕТА НА МАГНОНАХ ДВУХ ВЕТВЕЙ СПЕКТРА АНТИФЕРРОМАГНИТНОГО EuTe

С.О. Демокритов, Н.М. Крейнес, В.И. Кудинов

Обнаружено одномагнитное неупругое рассеяние света в классическом гейзенберговском антиферромагнетике EuTe на тепловых магнонах, принадлежащих обеим ветвям спектра возбуждений. Изучена зависимость частоты магнонов от магнитного поля во всей области существования антиферромагнитной фазы при $T = 2 \text{ К}$.

Мандельштам-бриллюэновское рассеяние (МБР) света является одним из немногих экспериментальных методов, позволяющих непосредственно изучать низкочастотную часть спектра элементарных возбуждений в твердом теле. Основной трудностью, возникающей при использовании этого метода для исследования спектра спиновых волн в магнетиках, является малая интенсивность рассеяния в этих материалах. Однако, успех, достигнутый за последнее десятилетие в развитии техники МБР, позволил изучить спектры спиновых волн в некоторых ферро-, ферри- и антиферромагнетиках ^{1,2}.

В настоящей работе исследовалось МБР в классическом гейзенберговском антиферромагнетике — EuTe на тепловых магнонах, принадлежащих обеим ветвям спектра возбуждений. Эксперименты проводились при $T = 2 \text{ К}$ в широком интервале магнитных полей ($0 \div 70 \text{ кЭ}$), соответствующем всей области существования антиферромагнитной (АФ) фазы.

Кубический халькогенид европия EuTe — ниже $T_N = 9,6 \text{ К}$ ³ становится легкоплоскостным двухподрешеточным антиферромагнетиком, в котором спины расположены в плоскости (111). Соответствующее эффективное поле анизотропии H_A составляет $\sim 10 \text{ кЭ}$. Из-за того, что в кубическом кристалле существуют четыре эквивалентных плоскости (111), кристалл ниже T_N разбивается на антиферромагнитные T -домены. Внешнее магнитное поле не может перевести образец в однодоменное состояние. В легкой плоскости (111) имеется слабая внутриплоскостная анизотропия H_a , выстраивающая спины в направлении $[1\bar{1}2]$. Ей соответствует эффективное поле $\sim 10 \text{ Э}$. Во внешнем магнитном поле $H_C = 2H_E = 72 \text{ кЭ}$ (при $T = 0 \text{ К}$) EuTe из АФ фазы переходит в ферромагнитную — спин-флип переход.

Для используемой нами в эксперименте длины волны света $\lambda = 632,8 \text{ нм}$ кристаллы EuTe относительно прозрачны: глубина проникновения составляет $\approx 200 \text{ мкм}$. Для этой же длины волны света в упорядоченном состоянии EuTe обладает сильными магнитооптическими эффектами: эффектом Фарадея (ЭФ) и изотропным магнитным преломлением (ИМП). ЭФ при $T = 2 \text{ К}$ составляет $\sim 2 \cdot 10^5 \text{ град/см}$ (или $n_+ - n_- = 0,07$) ⁴⁻⁶. ИМП обуславливает квадратичную зависимость магнитной части показателя преломления от намагниченности кристалла. В случае EuTe в насыщении при $T = 2 \text{ К}$ изменение показателя преломления Δn по оценкам, проведенным в ⁶, составляет $\sim 0,05$. Оба эти МОЭ (а также существенно меньшее по величине магнитное двупреломление) обуславливают сравнительно большую интенсивность МБР на спиновых волнах в EuTe ⁶. В качестве спектрального прибора при исследовании МБР в EuTe использовался пятипроходный интерферометр Фабри — Перо (фирма "Burleigh") с контрастом $> 10^8$. Общую схему имеющейся установки и конкретные детали методики измерений можно найти в работах ^{1, 7}. Исследования проводились в геометрии обратного рассеяния на магнонах с волновым вектором $|\mathbf{q}| = 3 \cdot 10^5 \text{ см}^{-1}$, распространяющихся вдоль оси $[100]$ кристалла. Магнитное поле было приложено также вдоль оси $[100]$, параллельно направлению распространения света. При такой ориентации все T -домены оказываются в эквивалентном положении относительно поля. Поскольку в легкоплоскостном АФ вид спектра возбуждений зависит от угла наклона магнитного поля относительно "легкой" плоскости (111), то при использованной нами геометрии опыта магнитные спектры для разных доменов совпадают. В связи с этим обстоятельством важной является точность установки образца относительно магнитного поля. В наших экспериментах она составляла $< 1^\circ$.

На рис. 1 приведен пример записи спектра рассеяния при фиксированном магнитном поле. Интенсивный пик с нулевым смещением частоты (основная линия) обусловлен упругим рассеянием света на дефектах кристалла. Смещенные спутники соответствуют неупругому рассеянию света на магнонах. Как видно из рис. 1 методом МБР удалось зарегистрировать магноны, принадлежащие обеим ветвям спектра спиновых волн легкоплоскостного антиферромагнетика. Спутники со смещенной частотой $\Delta\nu_1 = \pm (50 \pm 0, 5)$ ГГц (S_1 и AS_1) соответствуют рассеянию на магнонах низкочастотной ветви спектра, а с $\Delta\nu_2 = \pm (94 \pm 0, 5)$ ГГц (S_2 и AS_2) — магнонам высокочастотной ветви. Высокочастотная ветвь спектра магнонов была ранее зарегистрирована методом МБР в слабоферромагнитном FeVO_3 ⁸.

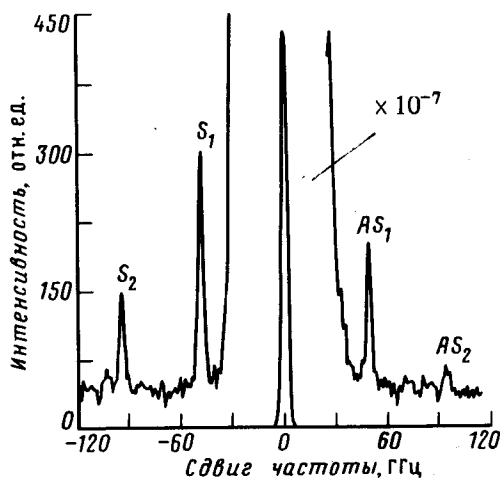


Рис. 1

Рис. 1. Спектр света, рассеянного в кристалле $T = 2$ К, $\lambda_{\text{св}} = 632,8$ нм, $|\mathbf{q}| = 3 \cdot 10^5$ см⁻¹, $\mathbf{H} \parallel [100]$, $H = 25$ кЭ

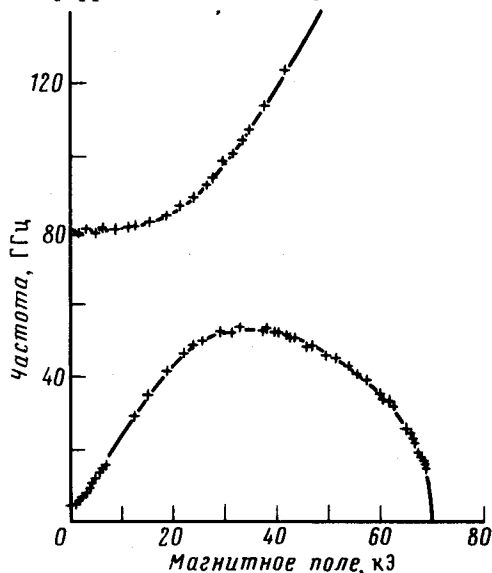


Рис. 2

Рис. 2. Спектр спиновых волн в EuTe для $\mathbf{H} \parallel [100]$. + — экспериментальные данные, — — результат теоретического расчета

На спектрограмме, изображенной на рис. 1, обращает на себя внимание различие в интенсивностях стоксова (S) и антистоксова (AS) спутников для обеих ветвей магнонов. Мы предполагаем, что это различие связано с различной вероятностью процессов поглощения и испускания магнона фотоном при рассеянии в условиях, когда $\hbar\omega_{\text{магн}} \sim kT$. В этом случае отношение интенсивностей S и AS спутников можно записать в виде:

$$\frac{I_S}{I_{AS}} = \frac{n_\omega + 1}{n_\omega} = e^{\hbar\omega/kT},$$

где $n_\omega = \frac{1}{e^{\hbar\omega/kT} - 1}$ — число возбужденных магнонов с частотой ω при данной T . Для данных

данных, соответствующих спектру на рис. 1, это отношение, рассчитанное по формуле, составляет 2,3 для магнонов нижней ветви и 4,8 для магнонов верхней ветви. Некоторое отличие экспериментально измеренных величин от рассчитанных связано, по-видимому, с небольшим ($\sim 0,5$ К) перегревом исследуемого объема кристалла относительно гелиевой ванны. С изменением магнитного поля, а, следовательно, и частоты магнонов отношение I_S/I_{AS} изменяется.

В настоящей работе подробно изучена зависимость частоты магнонов обеих ветвей от величины магнитного поля. Полученные экспериментальные результаты изображены на рис. 2. Низкочастотная ветвь спектра, благодаря большой интенсивности рассеяния, наблюдается вплоть до поля $H = 68$ кЭ, т. е. практически во всей области существования АФ-фазы. Маг-

ноны высокочастотной ветви из-за малой интенсивности рассеяния удается наблюдать только до полей $H = 42$ кЭ. Сплошные кривые на рис. 2 представляют результат расчета спектра магновов легкоплоскостного АФ, проведенного с учетом магнитодипольного взаимодействия. Необходимые для расчета константы взяты из ^{3, 9}. Наблюдается хорошее согласие теоретической кривой с экспериментом. Полученные результаты показывают, что в нулевом магнитном поле наблюдаются щели в обеих ветвях спектра. Щель в низкочастотной ветви $\Delta_1 = \sqrt{2H_E H_a}$ — обусловлена наличием внутриплоскостной анизотропии H_a , в высокочастотной $\Delta_2 = \sqrt{2H_E H_A}$ — обусловлена легкоплоскостной анизотропией H_A . Из экспериментальных данных определены значения $H_a = 15 \pm 1$ Э; $H_A = 10,4 + 0,2$ кЭ.

Авторы выражают искреннюю благодарность А.С.Боровику-Романову за ценные советы и обсуждения и Л.А.Клинковой (ИФТТ АН СССР) за любезно предоставленные кристаллы EuTe.

Литература

1. *Borovik-Romanov A.S., Kreines N.M.* Phys. Rep., 1982, **81**, 353.
2. *Patton C.E.* Phys. Rep., 1984, **103**, 251.
3. *Oliveira N.F., Foner S., Shapira J., Reed T.B.* Phys. Rev., 1972, **B5**, 2634.
4. *Schoenes J., Wachter P.* Physica, 1977, **86** — **88**, 125.
5. *Wachter P.* Phys. Kond. mat., 1968, **8**, 80.
6. *Демокритов С.О., Крейнес Н.М., Кудинов В.И.* Письма в ЖЭТФ, 1985, **41**, 38.
7. *Боровик-Романов А.С., Демокритов С.О., Крейнес Н.М., Кудинов В.И.* ЖЭТФ, 1985, **88**, 1348.
8. *Wettling W., Wilber W.D., Patton C.E.* J. Appl. Phys., 1982, **53**, 8163.
9. *Battles J.W., Everett G.E.* Phys. Rev., 1970, **B1**, 3021.

Институт физических проблем
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
20 февраля 1986 г.