

ОБНАРУЖЕНИЕ НОВОГО МЕХАНИЗМА РАССЕЙНИЯ СВЕТА В АНТИФЕРРОМАГНЕТИКЕ

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

При изучении мандельштам-бриллюэновского рассеяния света в антиферромагнитном EuTe обнаружен ранее не наблюдавшийся механизм рассеяния света, обусловленный s - f -обменным взаимодействием. Это взаимодействие приводит к зависимости показателя преломления от величины намагниченности кристалла. Вследствие этого в сильно скошенном антиферромагнетике, где имеются большая статическая намагниченность и продольные колебания момента, наблюдается неупругое рассеяние света без поворота плоскости поляризации.

Вопрос о вкладах различных магнитооптических эффектов (МОЭ) в интенсивность мандельштам-бриллюэновского рассеяния (МБР) света на спиновых волнах в магнитоупорядоченных веществах неоднократно обсуждался в литературе (см. ^{1, 2}). До сих пор экспериментально наблюдались вклады МОЭ, возникающих благодаря наличию в магнетике большого спин-орбитального взаимодействия и, таким образом, имеющих релятивистскую природу. К ним относятся эффект Фарадея (ЭФ), магнитное дупреломление и линейный и круговой дихроизмы. В настоящей работе обнаружен ранее не наблюдавшийся механизм одномагнитного рассеяния, имеющий обменную природу. Этот механизм приводит к появлению вклада в интенсивность МБР изотропного магнитного преломления (ИМП), описывающего зависимость показателя преломления от величины намагниченности кристалла ³.

Объектом исследования является кубический халькогенид европия EuTe . Ниже $T_N = 9,6$ К этот кристалл становится антиферромагнетиком с магнитной анизотропией типа "легкая плоскость" ⁴. При $T \approx 2$ К глубина проникновения света для $\lambda = 632,8$ нм в EuTe составляет ≈ 80 мкм. Согласно ^{5, 6} и нашим измерениям ЭФ в нем составляет $\sim 2 \cdot 10^3$ рад/см·кЭ ($\lambda = 632,8$ нм). Остальные анизотропные МОЭ имеют, по крайней мере, на порядок меньшие величины.

Изучалось рассеяние света на спиновых волнах с $q = 0$ (q – волновой вектор спиновой волны), возбужденных СВЧ полем (АФМР). Эксперименты проводились на установке, общая схема которой подробно описана в ^{1, 7}. Спектр рассеянного света исследовался пятипроходным интерферрометром Фабри – Перо американской фирмы „Burleigh”. АФМР возбуждался в диапазоне частот 35 – 45 ГГц. Исследования проводились при $T \approx 2$ К в интервале магнитных полей $0 \div 65$ кЭ. В дополнение к описанному в ^{1, 7} была осуществлена система непрерывной записи зависимости интенсивности рассеяния от магнитного поля. Использовались две геометрии эксперимента (см. рис. 1).

В условиях резонанса в обеих геометриях спектр рассеяния содержит два дополнительных спутника, смещенных относительно основной линии на частоту АФМР, что свидетельствует о наличии неупругого рассеяния света на спиновых волнах с $q = 0$ ¹. Исследовалась зависимость интенсивности спутника от магнитного поля. Пример записи такой зависимости приведен на рис. 1. Видно, что резонанс наблюдается как в малых полях, так и в больших, близких к спин-флип переходу ⁸. Из рис. 1 следует еще два важных экспериментальных

факта. Во-первых, интенсивность МБР одного порядка величины в обоих резонансах. Во-вторых, она слабо зависит от геометрии эксперимента.

Изучение поляризации неупруго рассеянного света в геометрии 1 показало, что в большом поле ($H \gtrsim 40$ кЭ) поляризация рассеянного света совпадает с поляризацией света, прошедшего через кристалл, т. е. рассеяние происходит без поворота плоскости поляризации. В малом поле ($H \approx 20$ кЭ) рассеянный свет становится эллиптически поляризованным с соотношением главных осей эллипса 3 : 1. При этом большая ось наклонена к направлению поляризации прошедшего света на угол $\sim 10^\circ$.

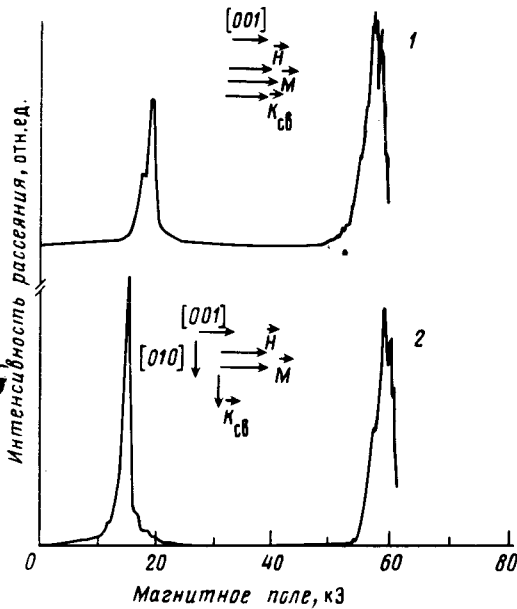


Рис. 1. Зависимость интенсивности рассеянного света от магнитного поля при АФМР в EuTe для двух геометрий эксперимента: 1 — $k_{\text{света}} \parallel H \parallel [100]$ и 2 — $k_{\text{света}} \perp H, k_{\text{света}} \parallel [100], H \parallel [010]$. $\Omega_{\text{свч}} = 35,2$ ГГц, $P_{\text{свч}} = 200$ мВт, $T = 1,8$ К, $\lambda_{\text{света}} = 632,8$ нм

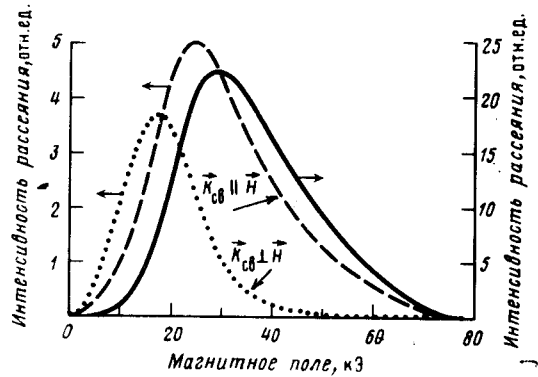


Рис. 2. Рассчитанная зависимость интенсивности рассеяния при АФМР от магнитного поля для двух МОЭ: — — ЭФ, $k_{\text{света}} \parallel H$; ... ЭФ, $k_{\text{света}} \perp H$; — ИМП

Обратимся теперь к анализу экспериментальных данных. Известно¹, что интенсивность света, рассеянного на спиновых волнах в магнитоупорядоченных веществах связана с магнитной частью тензора диэлектрической проницаемости $\delta\epsilon_{ik}(\mathbf{M}, \mathbf{L})$ (\mathbf{M} и \mathbf{L} — соответственно ферро- и антиферромагнитные вектора) следующим соотношением: $I_{\text{расс}} \propto E_{\text{расс}}^2 \propto [\delta\epsilon_{ij}(\mathbf{M}, \mathbf{L})E_{\text{пад}}^j]^2$. $\delta\epsilon_{ij}(\mathbf{M}, \mathbf{L})$ можно записать в виде разложения по компонентам векторов \mathbf{M} и \mathbf{L} :

$$\delta\epsilon_{ij}(\mathbf{M}, \mathbf{L}) = f_{ijk} M_k + g_{ijnk} M_n M_k + g'_{ijnk} L_n L_k + a\delta_{ij} M^2. \quad (1)$$

Первый член в (1) описывает ЭФ и круговой дихроизм. Второй и третий члены ответственны за линейное двупреломление по \mathbf{M} и \mathbf{L} , соответственно, а также за линейный дихроизм. Последнее слагаемое в (1) описывает изотропную добавку в показатель преломления. Каждый из указанных выше МОЭ может дать вклад в рассеяние света. Поскольку в EuTe преобладающим анизотропным МОЭ является ЭФ, то в дальнейшем ограничимся рассмотрением первого и последнего членов в (1). Разложив (1) по малым отклонениям \mathbf{M} , найдем электрическое поле неупруго рассеянной волны:

$$E_{\text{расс}}^i \propto \{ f e_{ijk} m_k(t) + 2a\delta_{ij} M_0 m_z(t) \} E_{\text{пад}}^j \quad (2)$$

e_{ijk} — единичный антисимметричный тензор, f и a — магнитооптические константы ЭФ и ИМП. Учет только ЭФ не позволяет описать всю совокупность имеющихся эксперименталь-

ных данных для EuTe. Из (2) видно, что рассеяние света за счет ЭФ должно происходить с поворотом плоскости поляризации на 90° , а за счет ИМП без поворота. Следовательно, результат поляризационного эксперимента приводит нас к необходимости учета ИМП в рассеянии света. В больших магнитных полях этот вклад является определяющим, что объясняется его квадратичной зависимостью от намагниченности. В малых полях заметным является и вклад от ЭФ, который приводит к небольшой эллиптичности в поляризации рассеянного света. Величина этой эллиптичности позволяет оценить магнитооптическую константу $a = 3 \cdot 10^{-7}$ Э, а отсюда и изменение показателя преломления при намагничивании кристалла до насыщения $\Delta n = 0,05$. Появление поворота плоскости поляризации рассеянного света связано, по-видимому, с наличием небольшого дихроизма.

Мы провели расчет интенсивности МБР при АФМР в EuTe с учетом либо ЭФ, либо ИМП для двух геометрий эксперимента. Результаты расчета представлены на рис. 2. Видно, что в высокополевым резонансе интенсивность рассеяния за счет ЭФ должна сильно зависеть от геометрии эксперимента. Рассеяние света, связанное с ИМП, напротив изотропно и не должно зависеть от направления распространения света, что и наблюдается в опытах.

Проведенный анализ позволяет заключить, что в антиферромагнитном EuTe рассеяние света в основном связано с ранее не учитывавшемся МОЭ — изотропным магнитным преломлением. Из (2) видно, что этот вклад будет эффективным в том случае, когда в спиновой системе существуют продольные колебания магнитного момента $m_z(t)$ и достаточно большая намагниченность M_0 . Такая ситуация возможна лишь в сильно скошенных антиферромагнетиках (в магнитном поле порядка обменного). Как уже указывалось выше, изотропное магнитное преломление имеет отличную от других МОЭ микроскопическую природу. Оно было обнаружено Вахтером³ в халькогенидах европия EuO, EuS и EuSe и связывалось с сильным сдвигом края оптического поглощения при намагничивании кристалла. Этот сдвиг обусловлен обменным взаимодействием электрона на возбужденном $5d$ -уровне с электронами, локализованными на $4f$ -уровне^{9,10} и не связан с наличием у иона орбитального момента. В EuTe непосредственно наблюдался сдвиг возбужденных электронных уровней¹¹, однако лишь в полях ~ 70 кЭ, где намагниченность достигает насыщения. Поскольку обсуждаемый механизм рассеяния имеет обменную природу, то обусловленный им вклад в интенсивность рассеяния должен быть существенным. Обнаружение этого механизма расширяет количество объектов, в которых можно наблюдать магнитное рассеяние.

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

Литература

1. *Borovik-Romanov A.S., Kreines N.M.* Phys. Rev. 1982, **81**, 353.
2. *Львов В.С.* ЖЭТФ, 1967, **53**, 163; *Moriya T.* J. Phys. Soc. Japan, 1967, **23**, 163.
3. *Wachter P.* Phys. Kondense Mat., 1968, **8**, 80.
4. *Oliveira N.F., Foner S., Shapira J., Reed T.B.* Phys. Rev., 1972, **B5**, 2634.
5. *Shoenes J., Wachter P.* Physica, 1977, **86-88B**, 125.
6. *Shoenes J.* Z: Physik, 1975, **B20**, 345.
7. *Крейнес Н.М.* Докторская диссертация, М., 1980.
8. *Боровик-Романов, А.С., Демокритов С.О., Крейнс Н.М., Кудинов В.И.* ЖЭТФ, 1985, **88**, вып. 4 (в печати).
9. *Rys F., Helman J.S., Beltensperger W.* Phys. Kondense Mat., 1967, **6**, 105.
10. *Метфессель З., Меттис Д.* Магнитные полупроводники, М., Мир, 1972.
11. *Feinleib J., Pidgeon C.R.* Phys. Rev. Lett., 1969, **23**, 1391.