

КВАДРАТИЧНОЕ МАГНИТНОЕ ВРАЩЕНИЕ ПЛОСКОСТИ ПОЛЯРИЗАЦИИ СВЕТА В АНТИФЕРРОМАГНЕТИКЕ CoF_2

Н.Ф.Харченко, А.В.Бибик, В.В.Еременко

Экспериментально наблюдалось в двухподрешеточном антиферромагнитном кристалле без центра антиинверсии индуцированное магнитным полем вращение плоскости поляризации, пропорциональное квадрату напряженности магнитного поля. Вращение имеет различный знак для состояний кристалла с противоположными направлениями антиферромагнитного вектора. Его величина позволяет визуально наблюдать 180-градусные антиферромагнитные домены в умеренных магнитных полях.

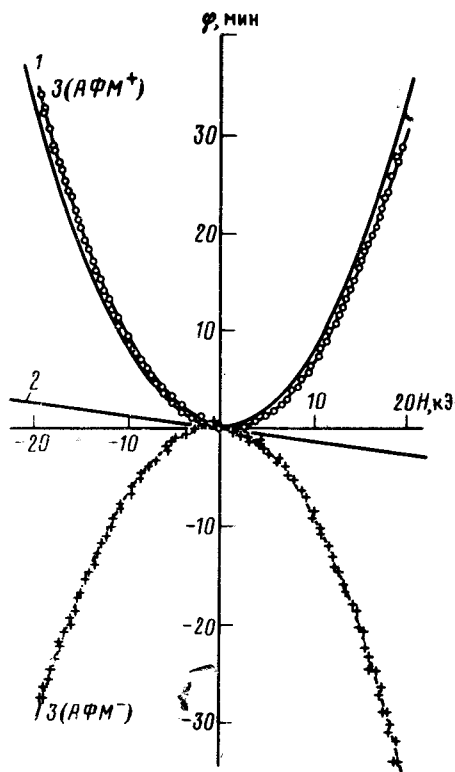
Упорядочение магнитной подсистемы кристалла приводит к разрешению новых оптических эффектов, симметрично запрещенных в магнитонеупорядоченных средах. Одним из таких эффектов является четное по напряженности магнитного поля невзаимное вращение плоскости поляризации света. Четное магнитное вращение не должно изменять знак при изменении направления вектора магнитного поля на противоположное, но должно его изменять при инверсии направлений всех элементарных магнитных моментов, связанных с магнитооптическими свойствами кристалла. О возможности появления этого эффекта в средах, не симметричных относительно операции антиинверсии $\bar{I} = \bar{I} \cdot I$ упоминалось в ^{1,2} и подчеркивалось в ³. Эта возможность следует из обобщенных на магнитоупорядоченные среды соотношений Онсагера для кинетических коэффициентов ⁴, которые снимают запрет на четные по H члены в разложении антисимметричных компонент диэлектрического тензора:

$$\epsilon_{ij}^a = f_{ij\alpha} H_\alpha + F_{ij\alpha\beta} H_\alpha H_\beta. \quad (1)$$

Квадратичное магнитное вращение плоскости поляризации света (КМВ) может быть описано антисимметричным по первой и симметричной по второй паре индексов полярным c -тензором четвертого ранга $F_{ij\alpha\beta}$ или дуальным ему аксиальным c -тензором третьего ранга $G_{k\alpha\beta} = e_{kij} F_{ij\alpha\beta}$. Аксиальным c -тензором третьего ранга $q_{ij\alpha\beta}$ описывается и линейный магнитооптический эффект (ЛМОЭ) ², но из-за различной симметрии тензоров $q_{ij\alpha\beta}$ и $G_{k\alpha\beta}$ относительно перестановки индексов магнитные классы кристаллов, в которых разрешены эти эф-

эффекты, совпадают не полностью. Оба эффекта запрещены в центроантисимметричных кристаллах, имеющих центр инверсии $\bar{1}$ и в классах 432 , $4\bar{3}m$, $m\bar{3}m$. Кроме того, КМВ запрещено в классах 422 , $4mm$, $\bar{4}2m$, $4/mmm$, 622 , $6mm$, $\bar{6}m2$ и $6/mmm$, где ЛМОЭ разрешен. КМВ разрешено в тех же 31 пиромагнитном и 27 антиферромагнитных классах кристаллов, в которых разрешена квадратичная по H намагниченность ⁵.

В настоящей работе сообщается об экспериментальном наблюдении квадратичного по полю вращения плоскости поляризации света в АФМ-ном кристалле. В качестве объекта исследования был взят хорошо изученный двухподрешеточный антиферромагнетик CoF_2 , структура которого описывается точечной магнитной группой $4/mmm$. В нем отличными от нуля компонентами $G_{k\alpha\beta}$ могут быть G_{zxy} и $G_{xyz} = G_{yxz}$. Наиболее легко детектируемым проявлением КМВ может быть вращение плоскости поляризации света, распространяющегося вдоль оси C_4 в поле $H \parallel [110]$. Оно описывается коэффициентом G_{zxy} . Геометрия опыта $k \parallel C_4 \perp H$ благоприятна по той причине, что она не чувствительна к линейному магнитному вращению плоскости поляризации света (эффекту Фарадея) и к ЛМОЭ. Последний хотя и приведет к расщеплению оптической оси из-за появления в диэлектрическом тензоре компонент ϵ_{yz}^s и ϵ_{xz}^s , но дополнительный поворот оси индикатрисы x_3 оставит ось C_4 совпадающей с одной из двух оптических осей.



Зависимость угла поворота плоскости поляризации света от напряженности магнитного поля $H \parallel [110]$ в антиферромагнитном CoF_2 . Экспериментальные точки \bullet и $+$ соответствуют двум АФМ-ным состояниям. Сплошными линиями показаны вклады квадратичного магнитного вращения (1), эффекта Фарадея, обусловленного небольшим отличием угла $(k \parallel H)$ от 90° (2), и зависимость $\pm BH^2 + cH$ при $B = 1,3 \cdot 10^{-8}$ град/см \cdot Э², $c = 2 \cdot 10^{-5}$ град/см \cdot Э (3). Толщина образца $l = 1$ мм, $k \parallel C_4$, $T = 15$ К, $\lambda = 6328$ А

В эксперименте использовались два вставленных друг в друга сверхпроводящих соленоида с взаимно перпендикулярными осями. Наружный соленоид имел геометрию соленоида Гельмгольца. Соленоиды позволяли независимо изменять продольную, $H_z \parallel C_4$, и поперечную, $H_x \parallel [110]$, проекции напряженности магнитного поля. Возможность независимо изменять H_z и H_x позволяла варьировать АФМ-ную доменную структуру образца, так как поле H_x индуцировало магнитный момент, знак z-проекции которого определялся знаком z-проекции АФМ-ного вектора L . После выключения поля H_z АФМ-ная доменная структура сохранялась практически в неизменном виде. Переключая направление достаточно сильного поля H_z , можно было перевести образец в однородное состояние АФМ⁺ или АФМ⁻. Зависимости угла удельного вращения φ от H показаны на рисунке. Здесь же сплошными линиями приведены графики

$$\varphi/l = \pm BH^2 + cH, \quad (2)$$

которые хорошо описывают положения экспериментальных точек для обоих состояний АФМ⁺ и АФМ⁻ при значениях параметров $B = 1,3 \cdot 10^{-8}$ град/см · Э² и $c = 2 \cdot 10^{-5}$ град/см · Э. Наиболее вероятно, что линейная по H добавка в действительности обусловлена наличием проекции магнитного поля на направление распространения света и представляет собой фарадеевское вращение. Требуемое отклонение H от перпендикулярной ориентации составляет угол в 1 град и лежит в пределах возможных ошибок.

Представляет интерес сопоставить значения постоянной КМВ B и постоянной Верде V , учитывая пропорциональность фарадеевского вращения намагниченности кристалла. Рассматривая в качестве воздействия на кристалл не магнитное поле, а проекции ФМ-ного и АФМ-ного векторов, антисимметричную компоненту ϵ_{xy}^a можно выразить в виде сумм:

$$\epsilon_{xy}^a(H \perp C_4) = F_{xyz}^m M_z^{kb} + F_{xyxyz}^l L_x L_y L_z + F_{xyxyz}^{m1} M_x M_y L_z = F_{xyxy} H_x H_y, \quad (3)$$

$$\epsilon_{xy}^a(H \parallel C_4) = f_{xyz}^m M_z = f_{xyz} H_z. \quad (4)$$

Здесь $M_z = \chi_{zz} H_z$, а $M_z^{kb} = \beta h_x h_y h_z + \gamma M_x M_y h_z = C_{zxy} H_x H_y$ — квадратичная по H намагниченность. Природа появления M при двух ориентациях поля различна. Поэтому и коэффициенты F_{xyz}^m и f_{xyz}^m могут не равняться друг другу. Наличие остальных двух членов в (3) говорит о том, что квадратичное вращение может появиться и при $M_z^{kb} = 0$, но отличных от нуля $h_x h_y h_z$ или $M_x M_y h_z$. Поскольку все постоянные в (3) нам не известны, мы положили F_{xyxyz}^l и F_{xyxyz}^{m1} равными нулю и сопоставили экспериментально определяемые значения

$$B_0^m = \frac{\pi}{\lambda n} F_{xyz}^m \text{ с } V^m = \frac{\pi}{\lambda n} f_{xyz}^m.$$

Взяв $C_{xyz} = 6,8 \cdot 10^{-9}$ СГСМ/см³ · Э², которое следует из значения $M_z^{kb} = 360$ СГСМ/моль, полученного при $H_x = 50$ кЭ в работе ⁶, χ_{zz} ($T = 15$ К) = $6,0 \cdot 10^{-4}$ СГСМ/см³ ⁷ и измерив $V = 1,43$ град/см · кЭ, получим $B_0^m = \varphi/M_z^{kb} l = 2,0$ град/см · Гс и $V^m = V/\chi_{zz} = 2,4$ град/см · Гс. Значения B_0^m и V^m близки друг к другу. Учитывая то обстоятельство, что систематические ошибки определения χ_{zz} и, особенно, C_{xyz} могут составлять более 10%, нельзя исключить возможности равенства B_0^m и V^m . Равенство этих магнитооптических коэффициентов свидетельствовало бы о равенстве в CoF_2 удельных вкладов в магнитное вращение плоскости поляризации квантово-механических состояний, примешиваемых к основному при воздействии полем $H \parallel C_4$ и $H \parallel [110]$.

В заключение отметим, что с помощью эффекта квадратичного магнитного вращении плоскости поляризации света удастся визуально различать 180-градусные АФМ-ные домены в поле $H \parallel [110]$ напряженностью около 10 кЭ.

Литература

1. Харченко Н.Ф., Еременко В.В., Белый Л.И. ЖЭТФ, 1982, 82, 827.
2. Eremenko V.V., Kharchenko N.F. Sov. Sci. Rev. A Phys., 1984, 5, 1.
3. Гиргель С.С. ДАН БССР, 1982, 26, 890.
4. Kleiner W.H. Phys. Rev., 1966, 142, 318; 1967, 153, 726; 1969, 182, 705.
5. Shtrikman S., Treves D. Proc. Internat'l Conf. on Magnetism (Nottingham), London, 1965, p. 484.
6. Бажан А.Н., Базан Ч. ЖЭТФ, 1975, 69, 1768.
7. Lines M.E. Phys. Rev., 1965, 137A, 983.