

## МАГНИТООПТИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ ИЗМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ СТРУКТУРЫ ФЕРРОМАГНИТНОГО МЕТАЛЛА ПРИ ПОВОРОТЕ ВЕКТОРА НАМАГНИЧЕННОСТИ

*Г.С.Кринчик, В.С.Гуцин*

Недавно Ходжс, Стоун и Голд [1] (см. также [2]) при исследовании ферми-поверхности ферромагнитного никеля обнаружили изменение формы дырочных карманов в  $X_5$ -точке при повороте вектора намагниченности и объяснили это изменение влиянием спин-орбитального взаимодействия. Фаликов и Рувалдс [3] провели теоретико-групповое рассмотрение этого эффекта для различных точек зоны Бриллюэна и дали объяснение аномальному изменению амплитуд де Гааз – ван Альфена при повороте  $\vec{I}$ , обнаруженному экспериментально в [2].

Существенно подчеркнуть, что спин-орбитальное взаимодействие должно влиять в указанном выше смысле не только на энергетические уровни расположенные на поверхности Ферми, но и на весь электронный энергетический спектр ферромагнитного металла, причем особенно сильным это влияние должно быть в окрестности точек симметрии зоны Бриллюэна, где вырождение энергетических уровней снимается спин-орбитальным взаимодействием. Таким образом появляется принципиальная возможность наблюдать указанное изменение электронной структуры ферро-

магнитного металла при повороте  $\vec{I}$  оптическим методом на частотах межзонных переходов, а "локализация" этого изменения в определенных областях зоны Бриллюэна открывает перспективу надежной идентификации межзонных переходов. Ниже описан магнитооптический эксперимент поставленный с целью обнаружения этого эффекта на монокристалле ферромагнитного Ni. При этом мы исходили из предположения, что искомый эффект не должен зависеть от знака  $\vec{I}$  (в частности, обсуждавшееся влияние ориентации  $\vec{I}$  на поверхности Ферми [1-3] имеет четный характер) и его можно легко выделить на фоне обычного нечетного ферромагнитного эффекта Керра.

Измерения проводились на чувствительной магнитооптической установке для измерения экваториального эффекта Керра [4] на монокристалле никеля с размерами  $5 \times 5 \times 1$  мм<sup>3</sup>, вырезанном в плоскости (110). Периодическая переориентация вектора  $\vec{I}$  от одной кристаллографической оси к другой необходимая для модуляционной техники измерения [4], производилась следующим образом. В намагничивающую обмотку электромагнита помимо переменной составляющей  $i_{\sim}$  подавалась постоянная составляющая  $i_{\sim}$ , соответствующая полю 1000 э, причем  $i_{\sim} = i_{\sim \text{ампл}}$ . Таким образом при положительном значении  $i_{\sim}$  намагничивающее магнитное поле изменяется от 0 до +2000 э (случай а) а при отрицательном от -2000 до 0 (случай б). При ориентации поля вдоль какой-либо оси кристалла полю  $H = \pm 2000$  э должна соответствовать намагниченность  $I = \pm I_s$  с ориентацией вдоль этой оси, а полю  $H = 0$ , получаемому после выключения поля  $H = \pm 2000$  э - намагниченность  $I = \pm I_r$  с преимущественной ориентацией в отдельных доменах вдоль осей легкого намагничивания типа [111]. Сигналы, полученные за счет экваториального эффекта Керра (нечетная составляющая), в случаях а и б должны быть одинаковыми и равными  $\delta_s(I_s - I_r)/I_s$ , где  $\delta_s$  - величина экваториального эффекта Керра, соответствующая  $I_s$ . Наличие искомой четной составляющей должно приводить к неравенству  $\delta_a$  и  $\delta_b$ .

На рис. 1 представлены кривые относительного изменения интенсивности отраженного света полученные на  $r$ -компоненте линейно-поляризованного света описанным выше способом при ориентации  $H$  вдоль трех главных кристаллографических направлений монокристалла. Резкое различие кривых  $\delta_a$  и  $\delta_b$  в случае переориентации вектора намагниченности от осей [100] и [110] к оси [111] в области 0,5 - 1,1 ээ показывает, что четная составляющая существует и по порядку величины она сопоставима с обычным нечетным экваториальным эффектом Керра. Совпадение в пределах ошибок измерений кривых  $\delta_a$  и  $\delta_b$  для оси [111] (когда происходит только переориентация  $\vec{I}$  в некоторых доменах от одной оси типа [111] к другой) подтверждает правильность предлагаемой интерпретации экспериментальных результатов.

"Локализация" обнаруженного четного эффекта в области 0,5-1,1 ээ

позволяет считать ответственным за него электронный переход  $L'_2 \downarrow \rightarrow L'_{32} \downarrow$  поскольку снятие вырождения зоны  $L_{32}$  в области указанных частот обусловлено спин-орбитальным расщеплением (см. [4,5]).

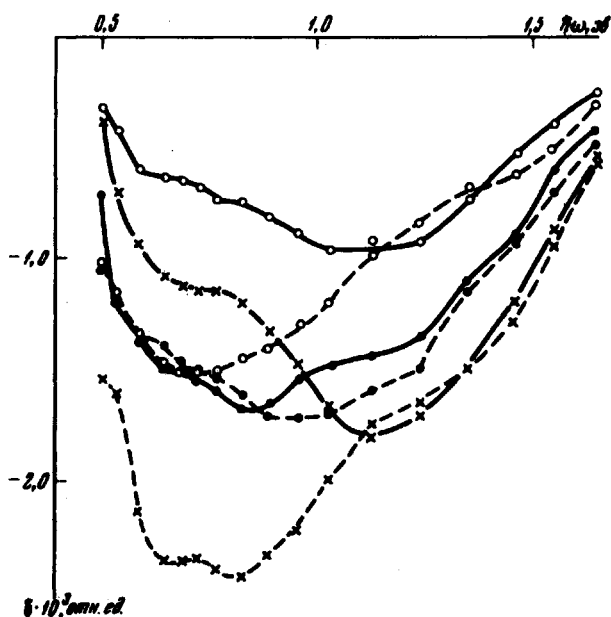


Рис. 1. Относительное изменение интенсивности р-компоненты линейно-поляризованного света при отражении от монокристаллического Ni;  $\delta_a$  — сплошные кривые,  $H$  изменяется от 0 до 2000 э;  $\delta_b$  — пунктирные кривые,  $H$  изменяется от -2000 до 0, угол падения света  $\phi = 70^\circ$ ;  $\circ\circ$  —  $H \parallel [110]$ ,  $\bullet\bullet$  —  $H \parallel [111]$ ,  $\Delta\Delta$  —  $H \parallel [100]$

Таким образом нами впервые экспериментально обнаружен четный магнитооптический эффект изменения интенсивности отраженного света при повороте вектора спонтанной намагниченности, который по порядку величины сравним с обычным эффектом Керра. Мы предполагаем, что он вызван влиянием поворота  $\hat{I}$  на электронную структуру ферромагнетика благодаря наличию спин-орбитального взаимодействия. Этот эффект естественно не является следствием обычных нечетных магнитооптических эффектов Фарадея и Керра, его нельзя свести к четному магнитооптическому эффекту Фохта [6] (с изменением диагональной компоненты тензора диэлектрической проницаемости во втором приближении по  $\hat{I}$ ), так как обнаруженный эффект на два-три порядка превышает эффект Фохта по абсолютной величине.

На рис.2 приведены кривые  $\delta_a$  и  $\delta_b$ , полученные на поликристаллических образцах Ni, Co и Fe. Величина четного эффекта для поликристалла Ni в области 0,5–1,1 э меньше чем в монокристалле, что соответствует усреднению по различным ориентациям кристаллитов. Резуль-

таты, полученные на поликристаллах Co и Fe показывают, что обнаруженный на никеле эффект можно будет изучать на монокристаллах различных ферромагнитных  $d$ -металлов и сплавов. Отметим, что в области межзонного перехода, приводящего к резкой магнитооптической аномалии  $0,7-1,0 \text{ эв}$  у кобальта [4], разность  $\delta_a - \delta_b$  изменяет знак.

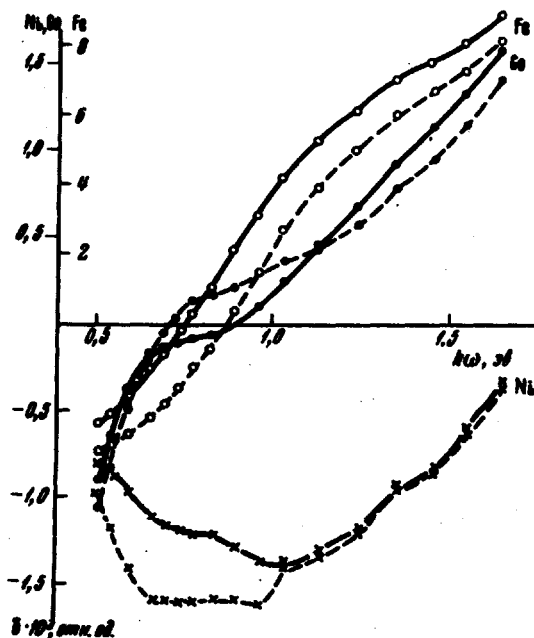


Рис. 2. То же что на рис. 1 для поликристаллических образцов Fe, Co, Ni

Можно было предположить, что влияние ориентации  $\vec{I}$  на электронный спектр ферромагнетика скажется непосредственно на его оптических характеристиках. Однако наши предварительные эксперименты в этом направлении (измерения при нормальном падении света, а также измерения на  $s$ -компоненте линейно-поляризованного света) дали пока отрицательный результат. Тот факт, что на магнитооптических характеристиках металла это влияние сказывается значительно более сильно, по-видимому связан с тем обстоятельством, что и магнитооптические эффекты в ферромагнетиках и влияние ориентации  $\vec{I}$  на электронную структуру металла имеют общее спин-орбитальное происхождение.

Московский

государственный университет  
им. М.В.Ломоносова

Поступила в редакцию  
30 мая 1969 г.

Литература

[1] L.Hodges, D.R.Stone, A.V.Gold. *Phys.Rev.Lett.*, 19, 655, 1967.  
 [2] R.W.Stark, D.C.Tsui. *J. Appl. Phys.*, 39, 1056, 1968.  
 [3] L.M.Falico, J.Ruvalds. *Phys.Rev.*, 172, 498, 1968.  
 [4] Г.С.Кринчик, В.С.Гущиц. *ЖЭТФ*, 55, 1938, 1969.

[5] Г.С.Кринчик, В.С.Гущин, Е.А.Ганьшина. Письма в ЖЭТФ, 8, 53, 1968.

[6] W.Voigt. *Magneto u. Elektrooptik*, Leipzig, 1908.

---