

В ФЕРРОМАГНИТНЫХ *d*-МЕТАЛЛАХ

Г.С.Кричик, С.А.Гущина

Исследование гальваномагнитных эффектов дает, как известно, ценную информацию об электронной структуре ферромагнитных металлов. Однако измерений близких к ним по физической природе магнитооптических эффектов в сильных магнитных полях пока не проводилось. Ниже приведены результаты измерения экваториального эффекта Керра δ [1] при угле падающего света $\varphi = 75^\circ$ на Fe, Ni и Co в магнитных полях до 40 кэ. Измерения показали, что возрастание эффекта в области насыщения аномально велико.

Экспериментальная установка была собрана по принципиальной схеме, описанной ранее [1]. Степень монохроматизации света, указанная в таблице, определялась используемыми светофильтрами и приемниками света. Например, несколько полученных экспериментальных кривых приведено на рисунке. Для характеристики погрешности измерений, которая не превышала 0,5%, приводятся также измерения на S -компоненте, когда $\delta = 0$. В таблице даны значения δ_S , полученные экстраполяцией линейного участка кривых $\delta(H)$ к полю $H = 0$, приведены величины $\frac{1}{\delta_S} \frac{\partial \delta}{\partial H}$ и коэффициенты k_S , определяемые из соотношения: $\frac{1}{\delta_S} \frac{\partial \delta}{\partial H} = k_S \frac{1}{I_0} \frac{\partial I}{\partial H}$ ($\frac{\partial I}{\partial H} = 1,3 \cdot 10^{-4}(\text{Fe}), 1,1 \cdot 10^{-4}(\text{Ni})$) [2].

Полученные данные показывают, что возрастание δ под действием магнитного поля значительно превышает соответствующий рост $I_0(k_S \gg 1)$. Возрастание k_S в области коротких волн исключает возможность объяснения наблюдаемого эффекта домагничиванием до насыщения поверхностного слоя образцов или влиянием магнитного поля на движение носителей. Что касается магнитооптических эффектов, обусловленных межзонными переходами, то, согласно [3], их величина определяется намагниченностью образца, деталями зонной структуры и величиной спин-орбитального взаимодействия. При этом следует иметь в виду, что

экваториальный эффект Керра δ - линейная функция действительной и мнимой частей недиагональной компоненты тензора диэлектрической проницаемости ϵ_{12} .

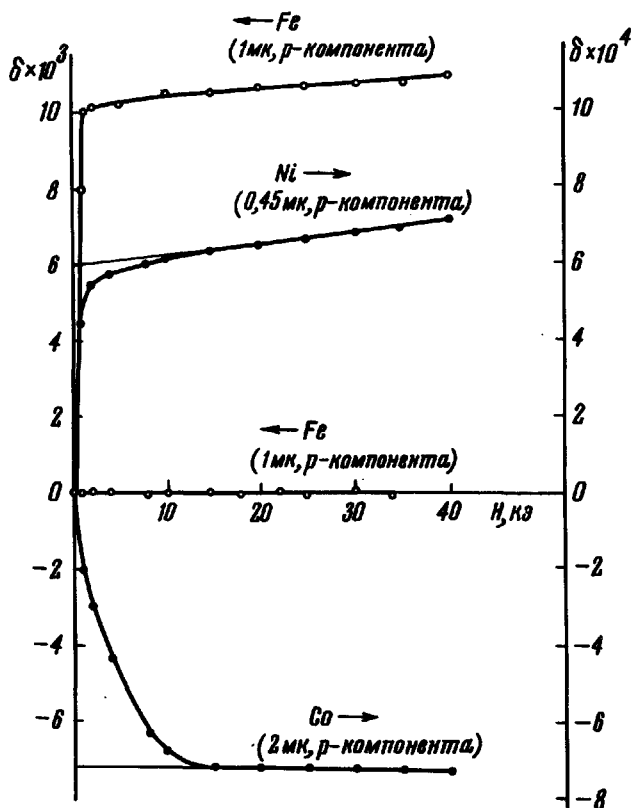
Обычно влияние магнитного поля на поведение ферромагнитных d -металлов в области насыщения связывают прямо или косвенно с уменьшением числа спиновых волн, т.е. с основной причиной зависимости намагниченности от поля. В данном случае такое объяснение неправильно, поскольку прямое влияние H на I слишком мало по величине, а предложенные для других эффектов (кристаллографическая анизотропия,

	λ [мк]	$\delta_s \cdot 10^3$	$\frac{1}{\delta_s} \frac{\partial \delta}{\partial H}$ [%кэ ⁻¹]	k_δ
Fe	$0,45 \pm 0,15$	6,9	0,20	26
	$1 \pm 0,1$	10,2	0,16	21
	$2 \pm 0,1$	-6,7	0,23	30
	$4 \pm 1,5$	-1,95	0,37	48
Ni	$0,45 \pm 0,15$	0,6	0,58	26
	$1 \pm 0,1$	-3,5	0,16	7
	$2 \pm 0,1$	-3,6	0,14	6
	$4 \pm 1,5$	-0,7	0,30	13
Co	$0,45 \pm 0,15$	0,4	0,17	
	$1 \pm 0,1$	1,8	0,10	
	$2 \pm 0,1$	-0,72	0,10	
	$4 \pm 1,5$	-1,8	0,15	

ферромагнитный эффект Холла) механизмы косвенного влияния также не работают. Можно предположить, что в данном случае мы имеем дело с эффектом непосредственного влияния магнитного поля на структуру энергетических зон d -металла, что, в свою очередь, приводит к изменению величин спин-орбитального взаимодействия. Особую роль здесь могут играть состояния, расположенные вдоль линий симметрии

зоны Бриллюэна или вблизи Ферми-поверхности, вырождение которых снимается спин-орбитальным взаимодействием.

В связи со сказанным следует обратить внимание на другие возможные проявления влияния магнитного поля на эффекты спин-орбитального взаимодействия в ферромагнитных d -металлах. Имеющиеся опыт-



ные данные по влиянию H на константу анизотропии K_1 показывают, что величина $\frac{1}{K_1} \frac{\partial K_1}{\partial H}$ для Ni составляет $0,5\% \text{ кбар}^{-1}$ [4], а для Fe $0,2\% \text{ кбар}^{-1}$ [5], т.е. сопоставима с величиной $\frac{1}{\delta_3} \frac{\partial \delta}{\partial H}$. Попытки объяснения соответствующих изменений K_1 влиянием поля на число спиновых волн приводят к количественным расхождениям с экспериментом в два-три раза, а эффект влияния давления на K_1 вообще не находит объяснения [4,5].

Обсуждаемое влияние магнитного поля может также приводить к зависимости ферромагнитной константы Холла R_H от H , хотя эта зависи-

мость маскируется наличием обычного эффекта Холла и влиянием магнитного поля на R_s за счет подавления спиновых волн [6]. Тем не менее, если предположить, что существенная часть "обыкновенной" константы Холла обязана своим происхождением указанной зависимости $R_s(H)$, то естественное объяснение находят следующие экспериментальные факты: 1) рост R_s при добавлении к никель меди, железа и кобальта сопровождается возрастанием "обыкновенной" константы Холла [7,8], 2) в Fe-Ni - сплавах при содержании никеля 32 - 40%, когда благодаря рекордному возрастанию R_s можно считать, что изменение э.д.с. Холла E_s в области насыщения в основном обусловлено зависимостью $R_s(H)$:

$$\frac{1}{E_s} \frac{\partial E_s}{\partial H} \cong 0,4\% \text{ кэ}^{-1} [8].$$

Представляет большой интерес экспериментальное исследование физических эффектов, связанных со спин-орбитальным взаимодействием в d-металлах, в области более сильных магнитных полей. Так, например, если линейное возрастание продолжится, то при $H = 200 \text{ кэ}$ δ ($\lambda = 0,45 \text{ мк}$) и K_1 никеля должны увеличиться вдвое. Интересно было бы также исследовать влияние сильного магнитного поля на орбитальную часть g -фактора.

Мы выражаем благодарность проф. Е.И.Кондорскому за обсуждение результатов данной работы.

Физический факультет

Московского государственного
университета им. М.В.Ломоносова

Поступило в редакцию
8 июня 1966 г.

Литература

- [1] Г.С.Кринчик, Р.Д.Нуралиева. ЖЭТФ, 36, 1022, 1959.
- [2] H.Danan. Comptes Rendus, 246, 73, 401, 1958.
- [3] P.N.Argyres. Phys. Rev., 97, 334, 1955; B.R.Cooper. Phys. Rev., 139A, 1504, 1965.

- [4] J.Veerman, J.J.M.Franse, G.W.Rathenau. *J.Phys. Chem. Sol.*, 24, 947, 1963; J.Veerman, G.W.Rathenau. *Proc. Intern. Conf. on Magnetism, Nottingham*, 737, 1965.
- [5] H.P.Klein, E.Kneller. *Phys. Rev.*, 144, 372, 1966.
- [6] Е.И.Кондорский. *ЖЭТФ*, 48, 506, 1965.
- [7] E.P.Beitel, E.M.Pugh. *Phys. Rev.*, 112, 1516, 1958; E.R.Sanford, A.C.Ehrlich, E.M.Pugh. *Phys. Rev.*, 123, 1947, 1961; R.Huguenin, D.Rivier. *Helv. Phys. Acta*, 38, 900, 1965.
- [8] W.Jellinghaus, M.-P.Andrés. *Ann. d.Phys.*, 7, 187, 1960.