

Письма в ЖЭТФ, том 11, стр. 105 – 110

20 января 1970 г.

**ЗАВИСИМОСТЬ ОРИЕНТАЦИОННОГО МАГНИТООПТИЧЕСКОГО
ЭФФЕКТА ОТ НАМАГНИЧЕННОСТИ**

Г.С.Кричик, Е.Е.Чепурова

В работе [1] сообщалось о наблюдении нового магнитооптического эффекта в ферромагнитных металлах. Эффект состоит в изменении интенсивности отраженного света и сопоставим по величине с обычным экваториальным эффектом Керра, но в отличие от него является четным по намагниченности и резко анизотропным. Предполагается, что

этот эффект вызван влиянием ориентации вектора намагниченности (в дальнейшем мы будем называть его ориентационным магнитооптическим эффектом) на электронную структуру ферромагнетика благодаря наличию спин-орбитального взаимодействия. В данной работе установлена зависимость этого эффекта от намагниченности.

Измерения проводились на тонких пермалловых страйп-пленках (подробности и ссылки см. в [2]). Выбор образцов был обусловлен тем, что доменная структура этих пленок очень проста (см. рис. 1) и намагничивание пленки осуществляется путем одновременного увеличения угла ϕ во всех доменах. Кроме того из-за малости намагничивающего поля ($H_S \approx 100$ э) и малого объема образца практически сведены к ну-

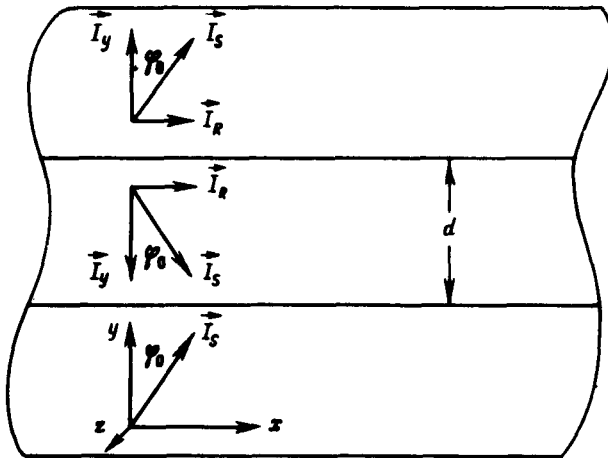


Рис. 1.

лю все виды наводок и помех. На чувствительной магнитооптической установке [1] регистрировалось изменение интенсивности отраженного света при произвольном изменении угла ϕ в интервалах $\phi_0 < \phi < \pi/2$ и $-\phi_0 < \phi < -\pi/2$, т. е. в области, где I_x зависит линейно от H . К образцу могли быть одновременно приложены различные по величине постоянное H_- и переменное H_{\sim} магнитные поля. H_{\sim} обеспечивает периодическое изменение намагниченности относительно любого I , определяемого величиной и знаком H_- . Непосредственно измерялось относительное изменение интенсивности отраженного света $\delta = \frac{J(I_1) - J(I_2)}{J(I)}$,

соответствующее изменению намагниченности от I_1 до I_2 . Изменение знака H_- позволяло при геометрии экваториального эффекта Керра ($H \parallel x$, плоскость падения света yz) получить два значения эффекта:

δ_a — соответствующее изменению I_x от I_1 до I_2 и δ_b — от $-I_2$ до $-I_1$. При этом обычный экваториальный эффект Керра $\delta_{\text{экр}} = \delta_{\text{нечет}} = (\delta_a + \delta_b) / 2$, а обнаруженный в [1] ориентационный магнитооптический эффект $\delta_{\text{ор}} = \delta_{\text{четн}} = (\delta_a - \delta_b) / 2$. Первая серия измерений (I) была проведена при геометрии экваториального эффекта Керра.

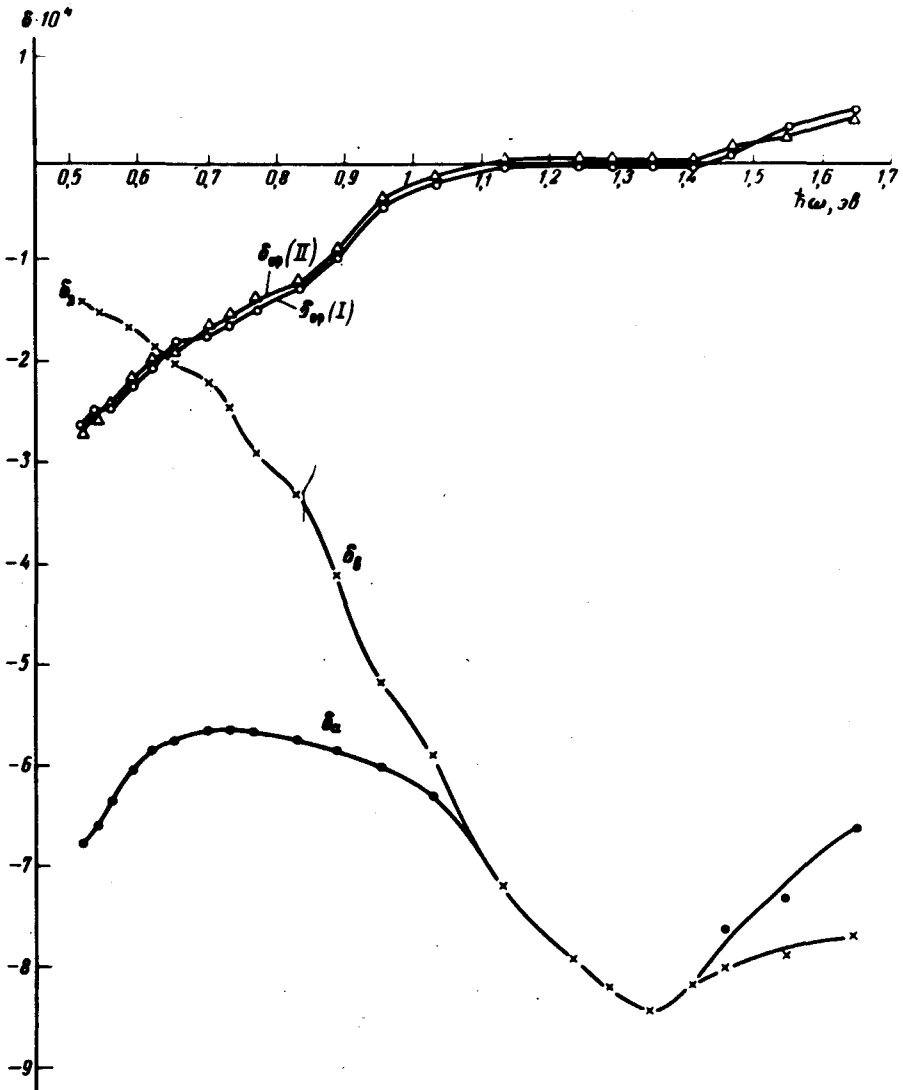


Рис. 2.

H_z устанавливалось равным полю насыщения H_s , а затем измерялись значения δ_a и δ_b при различных амплитудах H_z . На рис. 2 представлены кривые зависимости δ_a , δ_b , $\delta_{\text{ор}}(I)$ от λ при изменении I от I_R до I_s для одной из пермалловых пленок ($t = 6 \mu\text{m}$; $d = 22 \mu\text{m}$; $H_s = 95 \text{ э}$; $I_R = I_s = 0,45$). Кривая $\delta_{\text{ор}}(\lambda)$ для пермаллоя имеет такой же вид, как и соответствующая кривая $\delta_b - \delta_a$ для никеля [1]. На

рис. 3 представлены зависимости $\delta_{\text{экв}} / \delta_{\text{экв}}^s$ и $\delta_{\text{ор}} / \delta_{\text{ор}}^s$ от величины I_x / I_s , полученные указанным способом при фиксированном значении λ и изменяющейся величине H_{\sim} . Необходимое для построения кривой $\delta_{\text{ор}} / \delta_{\text{ор}}^s(I)$ значение $\delta_{\text{ор}}^s$ было получено из соотношения

$$\delta_{\text{ор}} = I_R = \left(\frac{I_R}{I_s} \right)^2 \delta_{\text{ор}}^s = 0,2 \delta_{\text{ор}}^s.$$

Вторая серия измерений (II) была проведена при геометрии меридионального эффекта Керра ($H \parallel x$, плоскость падения света xz). В этом случае величины $\delta_{\text{экв}}$ и $\delta_{\text{ор}}$ должны определяться составляющей I_y .

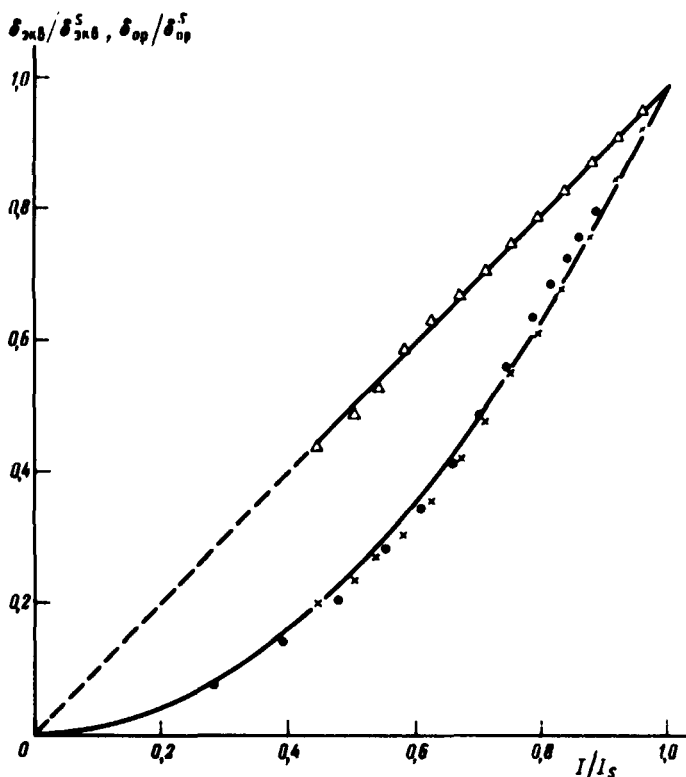


Рис. 3. $\Delta\Delta$ — $\delta_{\text{экв}} / \delta_{\text{экв}}^s$, $\times\times$ — $\delta_{\text{ор}} / \delta_{\text{ор}}^s$ (серия I)
 $\bullet\bullet$ — $\delta_{\text{ор}} / \delta_{\text{ор}}^s$ (серия II)

Поскольку среднее значение $I_y = 0$, $\delta_{\text{экв}} = 0$ при любом H . Однако четный эффект $\delta_{\text{ор}}$ не равен нулю, поскольку он определяется абсолютным значением I_y в каждом домене. Для характеристики ситуации отметим следующий "парадокс": при данной геометрии эффект $\delta_{\text{ор}}$ должен достигать максимального значения при $\phi = 0$, т. е. на полностью размагниченном образце, а при $I = I_s$, $\delta_{\text{ор}} = 0$. На рис. 3

приведена зависимость $\frac{\delta_{ор}}{\delta_{ор}^s}$ (II) от величины $|I_y| / I_s$. Здесь так-

же использована нормировка $\delta_{ор}^{I=I_R} = 0,2 \delta_{ор}^s$. Из графика видно, что полученные первым и вторым способом экспериментальные точки ложатся на одну параболу.

$H_{\sim}, \text{э}$	$-\delta_{ор}(I) \cdot 10^4$	$-\delta_{ор}(II) \cdot 10^4$	$H_{\sim}, \text{э}$	$-\delta_{ор}(I) \cdot 10^4$	$-\delta_{ор}(II) \cdot 10^4$
8	0,2	0,19	50	1,58	1,54
14	0,4	0,38	56	1,76	1,75
20	0,63	0,63	62	1,87	1,91
26	0,85	0,82	68	1,97	2,03
32	1,03	1	72	2,08	2,09
38	1,2	1,2	78	2,2	2,2
44	1,47	1,42			

Однако прямым доказательством квадратичной зависимости $\delta_{ор}$ от составляющей намагниченности перпендикулярной плоскости падения и обоснованием использованной нормировки для $\delta_{ор}^s$ является следующий результат. Пусть угол ϕ изменяется от ϕ_1 до ϕ_2 в области вращения I_s . При этом компонента I_x / I_s изменяется от $\sin \phi_1$ до $\sin \phi_2$, а компонента I_y / I_s от $\cos \phi_1$ до $\cos \phi_2$. Если эффект $\delta_{ор}$ пропорционален квадрату намагниченности, то при экваториальном намагничивании (I) $\delta_{ор} / \delta_{ор}^s = \sin^2 \phi_1 - \sin^2 \phi_2$, а при меридиональном намагничивании (II) $\delta_{ор} / \delta_{ор}^s = \cos^2 \phi_2 - \cos^2 \phi_1 = \sin^2 \phi_1 - \sin^2 \phi_2$, т. е. величины эффектов соответствующие одинаковым значениям H_{\sim} в случаях (I) и (II) должны совпадать. Понятно, что указанное совпадение имеет место только при квадратичной зависимости эффекта от намагниченности. Кроме того, на этот способ проверки не влияют погрешности связанные с измерением величин I_R / I_s и H_s пленки и установки амплитуд H_{\sim} и H_{\sim} . В таблице проведено сравнение измеренных величин $\delta_{ор}$ в случаях (I) и (II) при $\hbar \omega = 0,59 \text{ эв}$ и различных значениях H_{\sim} ($H_{\sim} = H_s$), а на рис. 2 проведено соответствующее сравнение эффектов $\delta_{ор}(I)$ и $\delta_{ор}(II)$ при изменении намагниченности от I_R до I_s для различных λ . Хорошее совпадение численных значений $\delta_{ор}$ в случаях (I) и (II) доказывает, что эффект $\delta_{ор}$ прямо пропор-

ционален квадрату составляющей намагниченности перпендикулярной плоскости падения света.

Московский
государственный университет
им. М.В.Ломоносова

Поступила в редакцию
9 декабря 1969 г.

Литература

- [1] Г.С.Кринчик, В.С.Гушин. Письма в ЖЭТФ, 10, 35, 1969.
[2] Г.С.Кринчик, Е.Е.Чепурова. Физика магнитных пленок. Материалы
Международного симпозиума, Иркутск 1969, стр. 140.
-