

Письма в ЖЭТФ, том 20, вып. 8, стр. 561 – 565 20 октября 1974 г.

ЭФФЕКТ ФАРАДЕЯ В АНТИФЕРРОМАГНЕТИКЕ NiO В СИЛЬНОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ

*А.И.Павловский, В.В.Дружинин, О.М.Таценко
Р.В.Писарев*

Описан эксперимент по эффекту Фарадея в полях, достигающих $\sim 1,6$ Мэв на длине волны $\lambda = 6328 \text{ \AA}$ при комнатной температуре. С ростом поля наблюдалась нелинейная зависимость и смена знака эффекта. Обсуждаются возможные причины этого явления.

Применение сильных магнитных полей, конкурирующих с обменными, спин-орбитальными и другими взаимодействиями в магнитных материалах, позволяет получить информацию о механизмах магнитного упорядочения и о расщеплении электронных состояний. До настоящего времени, насколько нам известно, оптические исследования магнитных кристаллов в полях > 1 Мэ не проводились.

В работе исследовался магнитооптический эффект Фарадея в антиферромагнетике NiO ($T_N = 523 \text{ K}$). Эксперимент проводился в упорядоченной области при температуре 290 К на установке взрывного типа, позволяющей получать поле порядка 2 Мэ [1]. В область поля помещались два идентичных образца длиной 0,44 см из стекла ТФ-5 (постоянная Верде 0,046 мин/см. э.), на один из которых накладывалась пластинка NiO толщиной 32 мкм. Луч гелий-неонового лазера $\lambda = 6328 \text{ \AA}$ освещал оба образца и вращение плоскости поляризации регистрировалось после прохождения света через поляризатор – образец – анализатор по величине

затемнения на двух фотоумножителях и двухлучевом осциллографе. Измерение величин поля проводилось двумя независимыми методами: индукционными датчиками и по повороту плоскости в образце ТФ-5 [2].

На рис. 1, а приведена кривая нарастания поля, измеренная индукционными датчиками и по вращению в стекле. На рис. 1, б, в показаны осциллограммы вращения плоскости поляризации в образце ТФ-5 с пластиной NiO и без пластинки соответственно. Расстояние между двумя минимумами или максимумами осциллограммы соответствует повороту на 180° , точность измерения угла при этом оценивается в $\pm 10^\circ$. Было проведено два эксперимента по измерению фарадеевского вращения до максимальных значений поля $\sim 1,6 \text{ Мэ}$ (рис. 2 а, б). Оба эксперимента дали близкие результаты, полученная на их основе полевая зависимость эффекта Фарадея показана на рис. 3.

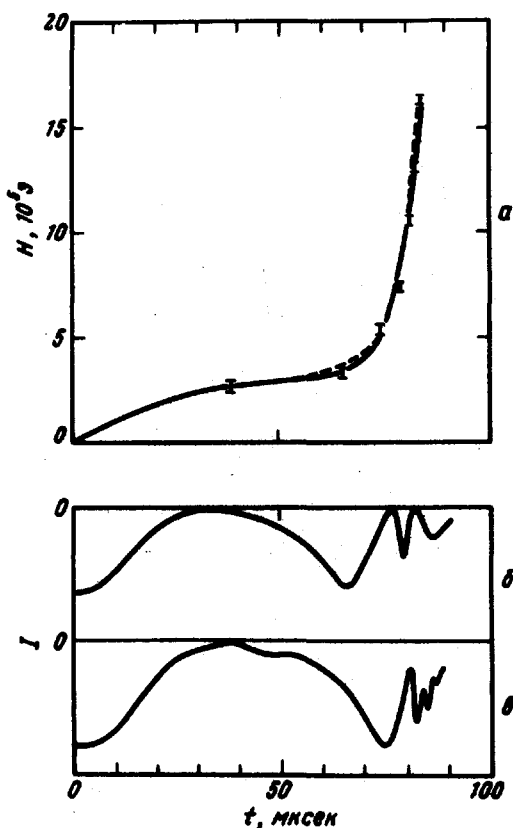


Рис. 1. а – Нарастание поля со временем, измеренное индукционными датчиками (пунктир) и по эффекту Фарадея (сплошная линия) в первом опыте; б – осциллограмма от образца ТФ-5 + NiO, в – осциллограмма от образца ТФ-5

Как видно из рис. 3 в малых полях вращение плоскости поляризации увеличивается с ростом поля. При напряженности $H \sim 0,9 \text{ Мэ}$ вращение достигает максимального значения, затем уменьшается и при $H \sim 1,5 \text{ Мэ}$ эффект меняет знак. По нашему мнению, эффект Фарадея в антиферромагнетике NiO может изменяться как из-за воздействия внешнего поля на магнитную структуру, так и из-за воздействия поля на расщепле-

ние электронных состояний и на интенсивность переходов, определяющих эффект. Рассмотрим сначала первый механизм.

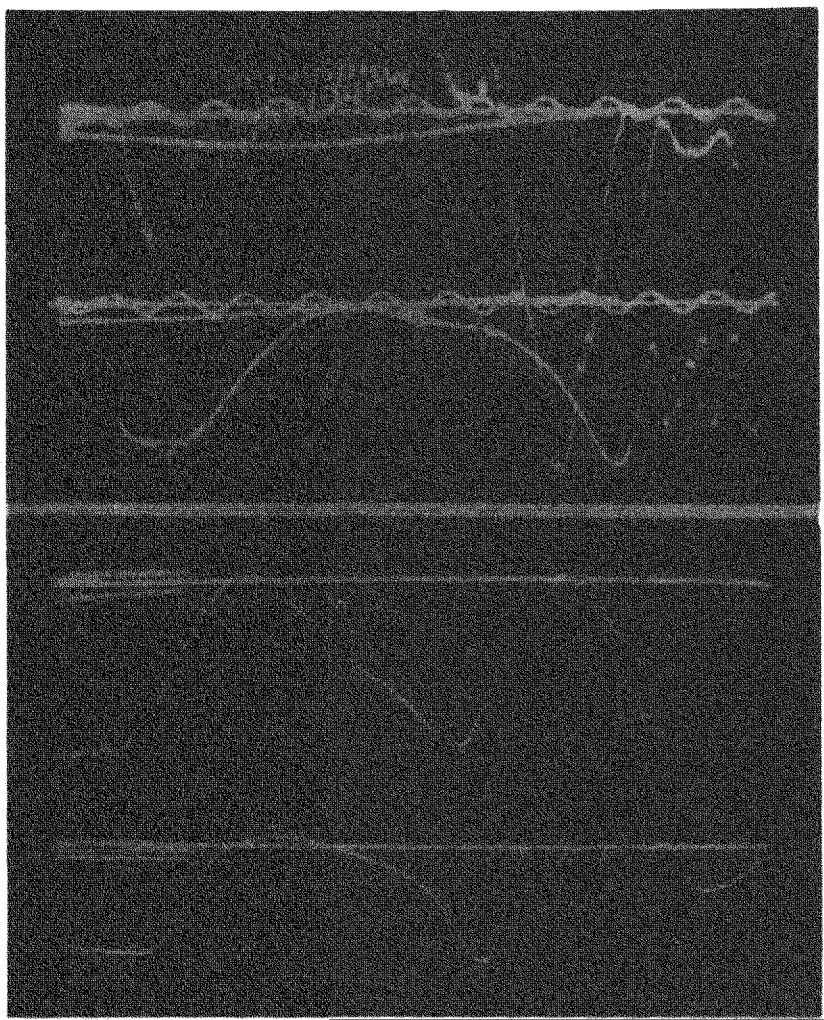


Рис. 2. Осциллограммы вращения плоскости поляризации в образце ТФ-5 + NiO (вверху) и ТФ-5 (внизу) (а) в первом опыте, (б) во втором опыте

В малых полях порядка нескольких килоэрстед происходит ориентация моментов антиферромагнитных подрешеток перпендикулярно полю. Дальнейшее увеличение поля вызывает "схлопывание" подрешеток, т.е.

происходит переход от антиферромагнитной к ферромагнитной структуре. Поле "схлопывания" подрешеток определяется лишь обменным взаимодействием [3 - 4]

$$H_E = \frac{3\sigma T_N}{g\mu_B(S+1)} = 4,8 \text{ Мэ}, \quad (1)$$

где $\sigma = M(T)/M(0)$ относительная намагниченность каждой подрешетки, μ_B — магнетон Бора. Таким образом, в полях $\sim 1,5 \text{ Мэ}$ "схлопывание" подрешеток оказывается существенным. Увеличение составляю-

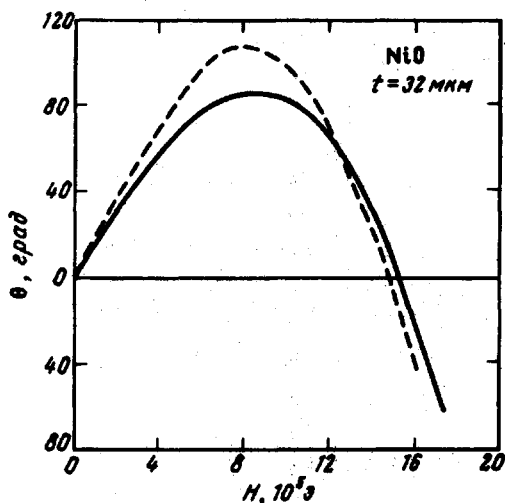


Рис. 3. Зависимость угла поворота плоскости поляризации θ от величины поля H экспериментальная (пунктир) и расчетная (сплошная линия)

щей магнитного момента на направление поля приводит к росту так называемого парамагнитного вращения $\theta_p = -ch$, где $h = H/H_E$, c — константа. Таким образом, сам по себе факт "схлопывания" подрешеток не может объяснить наблюдаемую нелинейную полевую зависимость фарадеевского вращения.

Существенное влияние магнитное поле может оказать на электронную структуру NiO, т. е. на положение полос поглощения и интенсивность переходов. Действительно, поле $\sim 1 \text{ Мэ}$ приводит к расщеплению электронных состояний $\sim 100 \text{ см}^{-1}$ (при $g = 2$), что может оказаться сравнимым с шириной полос поглощения и их спин-орбитальным расщеплением. Это может привести к нарушению линейной зависимости вращения от поля, но нам неизвестны какие-либо расчеты, учитывающие эти факторы. Возможно, что подобное влияние имеет место в других магнитных кристаллах, где наблюдалось нарушение пропорциональности между эффектом Фарадея и намагниченностью [5, 6].

По-видимому, в случае антиферромагнитных кристаллов эффективным может оказаться диамагнитный вклад θ_d в эффект Фарадея, который пропорционален h и сумме квадратов матричных элементов переходов из основного в возбужденное состояние [2]. Рассмотрим лишь такой вклад, который обусловлен поляризуемостью, зависящей от антиферромагнитного обменного взаимодействия. Эта поляризуемость

связана с переходами, описываемыми оператором $(e\pi)(S_1S_2)$ где S_1 и S_2 – операторы спинов ионов из двух антиферромагнитных подрешеток, обладающие свойством недиагональности, e – электрический вектор световой волны, π – дипольный момент [7]. Этот оператор описывает многие оптические явления в магнитных кристаллах, такие как двухмагнонное, экситон-магнонное, двухэкситонное поглощение и др.

Если мы разрушаем внешним магнитным полем антиферромагнитное упорядочение, то вклад в поляризуемость от подобных переходов будет уменьшаться по закону $(1 - h^2)^2$ [8]. Подобное влияние поля на интенсивность отдельных линий наблюдалась в спектре поглощения $FeSO_4$ [9]. В случае эффекта Фарадея мы можем описать наблюдаемую полевую зависимость формулой

$$\theta = a(1 - h^2)^2 h - c^* h, \quad (2)$$

где c^* учитывает парамагнитные и диамагнитные вклады, линейно зависящие от поля. Данная формула позволяет удовлетворительно описать экспериментальную кривую (рис. 3) при $a = 3670$ град, $c^* = 2940$ град. Оценка c^* по формуле (15) из [2] дает близкое значение, но величина a оказывается существенно больше ожидаемой. Возможно, что столь большая величина a обусловлена близостью частоты наблюдения к электронным переходам в ионе двухвалентного никеля, в частности, к переходу на уровень 1E .

Авторы выражают признательность Я.М.Ксендзову, предоставившему кристаллы NiO.

Физико-технический институт
им. А.Ф.Иоффе
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
12 сентября 1974 г.

Литература

- [1] А.Д.Сахаров, Р.З.Людаев, Е.Н.Смирнов, Ю.И.Плюшев, А.И.Павловский, В.К.Чернышев, Е.А.Феоктистова, Е.И.Жаринов, Ю.А.Зысин. Докл. АН СССР, 165, 65, 1965.
- [2] В.В.Дружинин, О.М.Таценко. Оптика и спектроскопия, 36, 733, 1974.
- [3] R.E.Dietz, G.I.Parisot, A.E.Meixner. Phys. Rev., B., 4, 2302, 1971.
- [4] A.Tsuchida. J. Phys. Soc. Jap., 21, 2497, 1966.
- [5] Н.Ф.Харченко, Л.И.Белый, О.П.Тугакина. ФТТ, 10, 2819, 1968.
- [6] Г.С.Кринчик, С.А.Гущина. Письма в ЖЭТФ, 4, 244, 1966.
- [7] Т.Мория. УФН, 98, 81, 1969.
- [8] В.В.Дружинин, В.В.Теймуразян. ФТТ, 14, 1600, 1972.
- [9] В.В.Еременко, Ю.Г.Литвиненко, В.П.Мятлик. Письма в ЖЭТФ, 12, 66, 1970.