

# ФИЗИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА

ТОМ 14

E. F. Gross, D. L. Fedorov, R. I. Shekhmametjev

*ОТДЕЛЬНЫЙ ОТТИСК*

The Effect of Uniaxial Deformation on Absorption Spectrum of  
Bismuth Iodide Crystals.

Fiz. Tverd. Tela, 14, (1972)



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»  
ЛЕНИНГРАДСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ  
Ленинград 1972

где

$$F_1(\omega) = \frac{i}{36V} \sum_{\substack{l \neq l' \\ m \neq m'}} J_{ll'} J_{mm'} \int_0^{+\infty} dt e^{i\omega t} \langle |(\mathbf{r}_{l'l} [\mathbf{s}_{l'}(t) \times \mathbf{s}_l(t)], (\mathbf{r}_{m'm} [\mathbf{s}_{m'} \times \mathbf{s}_m])| \rangle_{(e)}; \quad (13)$$

$$F_2(\omega) = + \frac{i(g_{LB}^4)}{3V} \sum_{\substack{l \neq l' \\ m \neq m'}} K_{ll'}^{\alpha\beta} K_{mm'}^{\gamma\delta} \epsilon_{\nu\beta\sigma} \epsilon_{\nu\delta\mu} \int_0^{+\infty} dt e^{i\omega t} \langle [s_{l'}^\alpha(t) s_l^\sigma(t), s_{m'}^\gamma s_m^\mu] \rangle_{(e)}.$$

Здесь  $V$  — объем тела, а скобки  $\langle \rangle_{(e)}$  означают усреднение при учете одного лишь обменного взаимодействия.

#### Л и т е р а т у р а

- [1] L. van Hove. Phys. Rev., 95, 1375, 1954.
- [2] B. L. Halperin, P. C. Hohenberg, Phys. Rev., 177, 952, 1969.
- [3] M. F. Collins, V. J. Minkiewicz, R. Nathans, L. Passell, G. Shirane. Phys. Rev., 179, 417, 1969.
- [4] V. Z. Minkiewicz, M. F. Collins, R. Nathans, G. Shirane, Phys. Rev., 182, 624, 1969.
- [5] Г. М. Драбкин, Я. А. Касман, В. В. Рунов, И. Д. Лузянин, Е. Ф. Шендер. Письма ЖЭТФ, 15, 379, 1972.
- [6] F. Schwabl, K. H. Michel. Phys. Rev., B2, 189, 1970.
- [7] М. А. Кривоглаз. ДАН СССР, 118, 00, 1958.

Поступило в Редакцию  
5 июня 1972 г.

## ВЛИЯНИЕ ОДНООСНОЙ ДЕФОРМАЦИИ НА СПЕКТР ПОГЛОЩЕНИЯ КРИСТАЛЛОВ ИОДИСТОГО ВИСМУТА

[Е. Ф. Гросс], Д. Л. Федоров и Р. И. Шехмаметьев

Изучено влияние одноосной деформации (давление и наблюдение вдоль оптической оси  $C_3$  кристалла) на спектр поглощения кристаллов иодистого висмута при  $T=4.2^\circ\text{K}$ . Обнаружено смещение линий обратной водородоподобной серии в сторону меньших энергий и последовательное их ослабление, начиная с высших (длинноволновых) членов.

С коротковолновой стороны на серию надвигается деформационное сплошное поглощение со значительно большим (по абсолютной величине) коэффициентом смещения.

В предыдущих работах [1-4] мы сообщали о наблюдении в спектре поглощения кристаллов иодистого висмута при температуре  $4.2^\circ\text{K}$  водородоподобной серии линий, сходящихся не в коротковолновую, как обычно, а в длинноволновую сторону. Частоты  $\nu_n$  этих линий подчиняются обратной сериальной зависимости водородоподобного атома

$$\nu_n = \nu_\infty + \frac{R_1}{n^2}, \quad (1)$$

где  $R_1=1995\text{ см}^{-1}$ ,  $\nu_\infty=15\,978\text{ см}^{-1}$  и  $n=3, 4, 5, 6$ . Обратная водородоподобная серия линий поглощения была связана с энергетическим спектром двух одноименно заряженных частиц, имеющих отрицательную приведенную эффективную массу (биэлектрон или бихол) [1-4].

В настоящей работе приведены результаты дальнейших экспериментальных исследований обратной серии. Мы изучили влияние на спектр поглощения направленной одноосной упругой деформации монокристаллов  $\text{BiI}_3$  при температуре жидкого гелия ( $4.2^\circ\text{K}$ ).

Для пьезоспектроскопических исследований использовались кристаллы  $\text{BiI}_3$  в виде плоских пластинок толщиной около  $0.1\text{ мм}$  и площадью около  $6\text{ мм}^2$ . Давление прикладывалось вдоль кристаллографической оси  $C_3$  (оптическая ось кристалла), которая перпендикулярна плоскости пластинок. Волновой вектор падающего света  $\mathbf{q}$  также был направлен вдоль оптической оси  $C_3$ . Для осуществления такого эксперимента мы использовали пресс специальной конструкции, в котором давление на кристалл осуществляется прозрачными кварцевыми пуансонами. Величина прикладываемого давления достигала  $3-7\text{ кбар}$ . Свет проходил через пуансоны и кристалл, находящиеся в жидком гелии, и направлялся на щель спектрографа. Исследования велись на дифракционном спектрографе ДФС-13 с линейной дисперсией около  $2\text{ \AA/мм}$  и на призмном спектрографе ИСП-51 с камерой  $F=800\text{ мм}$  и дисперсией около  $30\text{ \AA/мм}$  в исследуемой красной области.

Деформация кристалла вдоль оптической оси  $C_3$  приводит к смещению линий поглощения обратной серии в длинноволновую сторону<sup>1</sup> (рис. 1).

<sup>1</sup> Нам не удалось заметить расщепления линий обратной серии.

Одновременно на серию надвигается сплошное поглощение (рис. 2). Смещение линий поглощения растет с увеличением деформации кристалла. Так как кристаллы были неоднородны по толщине, то давление передавалось на небольшие участки кристалла, и в спектре поглощения разным участкам линий (по высоте) соответствуют разные по величине деформации, что ведет к искривлению линий (рис. 1, *в*). В некоторых образцах все приложенное давление передавалось на очень маленькую площадь кристалла; на этих участках смещение линий обратной серии достигало 0.003—0.006 эв.

Вначале, при небольших давлениях ( $P < 500$  бар), линии с  $n=3, 4, 5, 6$  смещаются одинаково с коэффициентом смещения  $(dE/dP)_{P \parallel C_3}$  порядка

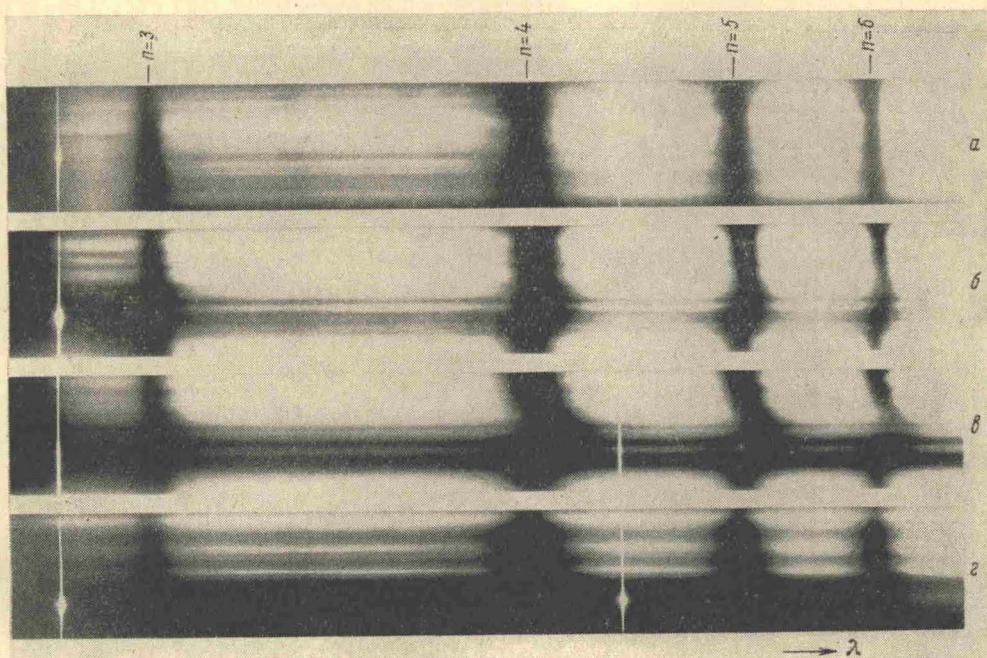


Рис. 1. Спектр поглощения обратной водородоподобной серии монокристаллов  $\text{BiI}_3$  при одноосной деформации вдоль оси  $C_3$ .

$T=4.2^\circ \text{ К}$ , дисперсия  $1.9 \text{ \AA/мм}$ .  
 $P$ , кбар: а — 0, до деформации; б — 0.5; в — 1.6; г — 0, после деформации.

$10^{-6}$  эв/бар. При дальнейшем увеличении давления ( $P > 500$  бар) видно, что для линий с  $n=4, 5$  и 6 коэффициент смещения больше, чем для линии с  $n=3$  (рис. 1, б, в). Различие между сдвигом линий с  $n=4, 5, 6$  в наших экспериментах определить не удалось.

Сравнение экспериментальных значений частот линий ( $\nu_n$ ) в деформированных кристаллах с вычисленными по формуле (1) показывает, что различие в величине смещения линий приводит к нарушению водородоподобности серии — линии с  $n=4, 5$  и 6 расположены в более длинноволновой области, чем следует из формулы.

Наряду с длинноволновым смещением линий поглощения обратной серии происходит последовательное уменьшение их интенсивности при деформации. Деформация оказывает наиболее заметное влияние на линии с квантовыми числами  $n=6$  и 5, интенсивность которых падает быстрее, чем у линий с  $n=4$  и 3.

Такой же эффект ослабления линий, начиная с высших членов серии, наблюдается и при нагревании кристаллов  $\text{BiI}_3$  от температуры жидкого гелия до  $40-45^\circ \text{ К}$ , хотя смещение линий при этом происходит в коротковолновую сторону [2]. Коэффициент температурного смещения линий серии в области температур  $4.2-30^\circ \text{ К}$  составляет  $dE/dT = +1.6 \cdot 10^{-4}$  эв/град.

Одновременно со смещением линии обратной серии появляется деформационное сплошное поглощение (ДСП), движущееся с коротковолновой стороны (рис. 2). С увеличением давления ДСП надвигается на серию и переходит ее, так что наблюдать серию становится трудно (при этом нарушается водородоподобность серии). При достижимых в условиях нашего опыта давлениях край ДСП доходил до  $\lambda\lambda$  630—632 нм, т. е. смещение края ДСП происходит не менее, чем на 0.05 эв и значительно превышает смещение линий обратной серии. Коэффициент смещения края ДСП при температуре жидкого гелия  $dE/dP$  имеет величину порядка  $-10^{-5}$  эв/бар и близок по величине к значению, полученному в работе [5],

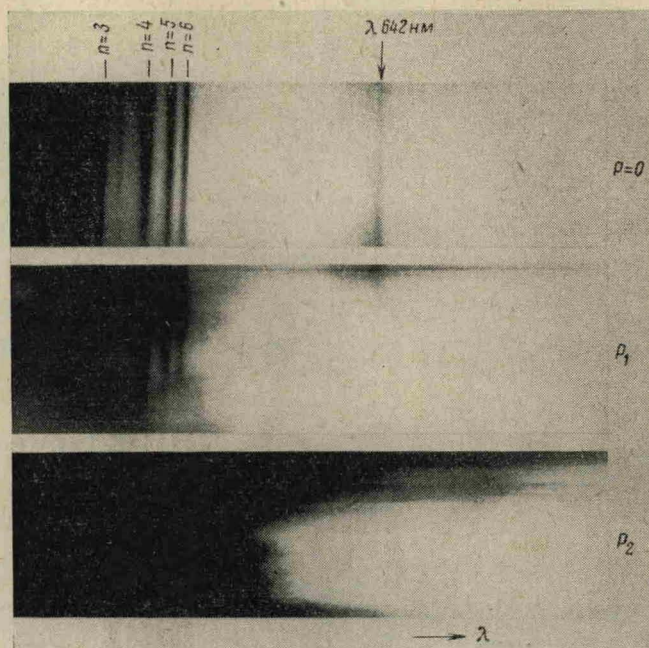


Рис. 2. Появление деформационного сплошного поглощения (ДСП) в спектре монокристаллов  $\text{BiI}_3$  при  $T=4.2^\circ\text{K}$  при увеличении давления ( $P=0$ ,  $P_2 > P_1$ ).

$-(11.2 \pm 0.8) \cdot 10^{-6}$  эв/бар для экситонного пика (2.0 эв,  $T=80^\circ\text{K}$ ). Это свидетельствует в пользу экситонного происхождения ДСП.

В кристаллах  $\text{BiI}_3$  наблюдается линия поглощения у  $\lambda$  642 нм ( $T=4.2^\circ\text{K}$ ), коэффициент смещения которой близок к величине коэффициента смещения ДСП, но значительно превышает коэффициент смещения линий обратной серии. Следует также заметить, что в образцах, подвергавшихся деформации, после снятия давления появляется новая линия поглощения у  $\lambda$  660 нм, которая раньше не наблюдалась.

Деформационный сдвиг линий поглощения, края ДСП и изменение интенсивности линий обратимы при температуре жидкого гелия. При полном снятии нагрузки линии поглощения и край ДСП возвращаются к положению, характерному для спектра недеформированного кристалла, и интенсивность линий возрастает до исходной величины.

Кроме обратимого сплошного поглощения (ДСП) в точках максимального давления возникает (весьма инерционное при  $T=4.2^\circ\text{K}$ ) сплошное поглощение, и, по-видимому, другой природы, которое тянется от края собственного поглощения также в длинноволновую сторону (рис. 1, в). Мы смогли установить, что это поглощение идет дальше  $\lambda$  690 нм. В кристаллах, находящихся при температуре  $4.2^\circ\text{K}$ , это поглощение не исчезает при снятии давления. Однако в образцах, прогретых предварительно до комнатной температуры, интенсивность его значительно уменьшается.

Одинаковый деформационный сдвиг линий обратной серии в сторону меньших энергий и последовательное ослабление их, начиная с высших (длинноволновых) членов, в совокупности с уже известными результатами [1-4] подтверждают ранее высказанное предположение о единстве их природы.

Нарушение водородоподобности серии при больших давлениях может быть обусловлено неоднородностями напряженных образцов, тогда как последовательное ослабление линий, начинающееся с высших членов, может быть, в частности, вызвано изменением длины кулоновского экранирования при давлении подобно тому, как это имеет место при нагревании [2].

Различие в величинах деформационного смещения сплошного поглощения и обратной водородоподобной серии показывает, что эти явления связаны с переходами из разных зон.

Авторы благодарят Н. В. Старостина за обсуждение результатов, В. Т. Агеяна за помощь и советы при создании пресса и А. Н. Павлова за участие в экспериментах.

#### Л и т е р а т у р а

- [1] Е. Ф. Гросс, В. И. Перель, Р. И. Шехмаметьев. Письма ЖЭТФ, *13*, 320, 1971.
- [2] Е. Ф. Гросс, И. Н. Уральцев, Р. И. Шехмаметьев. Письма ЖЭТФ, *13*, 503, 1971.
- [3] Е. Ф. Гросс, Н. В. Старостин, Р. И. Шехмаметьев. ФТТ, *13*, 3393, 1971.
- [4] Е. Ф. Гросс, Н. В. Старостин, М. П. Шепилов, Р. И. Шехмаметьев. ФТТ, *14*, 1942, 1972.
- [5] A. J. Grant, A. D. Yoffe. Phys. Stat. Sol., (b), *43*, k29, 1971.

Ленинградский  
государственный университет  
им. А. А. Жданова  
Физико-технический институт  
им. А. Ф. Иоффе АН СССР  
Ленинград

Поступило в Редакцию  
8 июня 1972 г.

## АНОМАЛЬНОЕ ИЗМЕНЕНИЕ ПОЛЯРНОГО ЭФФЕКТА КЕРРА В НИКЕЛЕ И ЖЕЛЕЗЕ В СИЛЬНОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ

*И. С. Эдельман, А. В. Малаховский, Т. П. Морозова, А. Т. Сливинская  
и Г. С. Вейсиг*

Проведены измерения полярного эффекта Керра в монокристаллах Fe и Ni в полях до 100 кэ в видимой области спектра. Наблюдалось аномальное уменьшение эффекта Керра при увеличении магнитного поля после насыщения, которое значительно превосходило соответствующее увеличение намагниченности в образце за счет парапроцесса. На основании указанных измерений и измерений экваториального эффекта в сильных магнитных полях, проведенных Г. С. Кринчиком, вычислены приращения недиагональных компонент тензора диэлектрической проницаемости в сильном магнитном поле.

Кринчик и Гущина [1] обнаружили аномально большое влияние магнитного поля на экваториальный эффект Керра в железе, никеле и кобальте. При увеличении внешнего магнитного поля сверх поля насыщения возрастание эффекта Керра в десятки раз превосходило соответствующее увеличение намагниченности в образце за счет парапроцесса. Аналогичное аномальное изменение эффекта Фарадея в сильном магнитном поле наблюдалось в работе [2] на железо-иттриевом гранате.

В данной работе проведены измерения полярного эффекта Керра в монокристаллах никеля и железа в полях до 100 кэ в видимой области спектра. Измерения проводились на механически полированных образцах монокристаллов никеля (99.9%), выращенных методом Чохральского, и кремнистого железа (3.5% Si). Блок-схема измерительной установки представлена на рис. 1. Импульсное магнитное поле создавалось разрядом конденсаторной батареи 11 (поле в максимуме 100 кэ, длительность первого полупериода колебаний поля 1.5 мсек., рабочее отверстие соленоида 20 мм). В качестве источника света 1 использовалась лампа накаливания мощностью 110 вт. Сфокусированный линзой 2 луч, проходя через поляризатор 3, попадал на образец 4, помещенный в центре соленоида 9. Угол падения луча равнялся 10°. После отражения от поверхности образца луч проходил через анализатор 5 и фокусировался линзой 6 на фотокатоде фотоумножителя 7 типа ФЭУ-27. Сигнал с фотоумножителя подавался на вход Y осциллографа С1-29 с запоминанием 8. В центре соленоида помещалась катушка-датчик 10, сигнал с которой через интегратор 12 подавался на вход X осциллографа. Таким образом, эффект записывался в развертке по полю.

Как известно, поток  $\Phi$ , проходящий через анализатор, равен

$$\Phi = \Phi_0 \sin^2 \alpha, \quad (1)$$

где  $\Phi_0$  — поток, проходящий через анализатор при максимальном раскрытии;  $\alpha$  — угол отклонения анализатора от положения максимального затемнения. При повороте плоскости поляризации за счет эффекта Керра на некоторый малый угол  $\Delta\alpha$  изменение потока равно

$$\Delta\Phi = 2\Phi_0 \sin \alpha \cos \alpha \Delta\alpha. \quad (2)$$

From:

Dr. R.I. Shekhmamet'ev  
Department of Physics, NIF1,  
Leningrad State University  
Leningrad 199164  
USSR.