

## ИЗМЕНЕНИЕ ТОПОЛОГИИ ПОВЕРХНОСТИ ФЕРМИ

### КАДМИЯ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

Е.С.Ицкевич, А.Н.Вороновский

Дырочная поверхность ферми кадмия во второй зоне представляет собой "монстр" такого же типа, как и у цинка; однако она имеет качественные отличия: рукава монстра, находящиеся в плоскости  $(0001)$ , у кадмия разорваны  $[1]$ , а согласно данным  $[2]$  монстр имеет еще контакт с ребром зоны Бриллюэна, параллельным оси  $[0001]$ , вдоль полной длины ребра. У электронной поверхности кадмия в третьей зоне отсутствуют "яглы", которые есть у цинка  $[1]$ . Эти отличия в основном обусловлены разницей в величине отношения параметров решетки  $c/a$ , которое у кадмия несколько больше отклоняется от идеального.

Различия в виде фермиевской поверхности обоих гексагональных металлов, во-первых, порождают отличия в угловой зависимости электропроводности  $\rho(\theta)$  в сильных магнитных полях: для  $\rho(\theta)$  кадмия характерно отсутствие глубокого минимума при  $\vec{H} \parallel [0001]$ . В этом минимуме у цинка наблюдается насыщение в зависимости  $\rho(H)$ , мо-

дулированное квантовыми осцилляциями сопротивления. У кадмия при этом направлении магнитного поля имеет место неглубокий минимум и квадратичный рост  $\rho(H)$ , что свидетельствует об отсутствии открытых траекторий электронов проводимости в плоскости  $(0001)$  [3,4]. Во-вторых, у кадмия нет квантовых осцилляций электросопротивления, соответствующих иглам.

Под давлением  $c/a$  для кадмия уменьшается и при давлении около 1 кбар становится равной величине  $c/a$  для цинка. Поэтому представлялось весьма интересным попытаться найти осцилляции электросопротивления в магнитном поле, соответствующие иглам, и исследовать  $\rho(\theta)$  для кадмия под давлением.

В работе Гайдукова и Ицкевича [4]  $\rho(\theta)$  для кадмия изучалось до давления 7,5 кбар, однако, кроме некоторого уплощения неглубокого минимума при  $\vec{H} \parallel [0001]$ , никаких качественных изменений обнаружено не было.

Эти измерения были продолжены на чистом кадмии ( $\alpha = \rho_{300^\circ K} / \rho_{4,2^\circ K} \approx 12-14 \cdot 10^3$ ) в камере высокого давления, описанной в работе Ицкевича и др. [5], и проводились на четырех образцах, оси которых были параллельны направлению  $[11\bar{2}0]$ .

Измерения показали, что при давлении выше 8 кбар и  $\vec{H} \parallel [0001]$  на кривых  $\rho(\theta)$  появляется дополнительный третий максимум. На рис. 1 и 2 приводятся записи кривых  $\rho(\theta)$  на двухкоординатном самописце ПДС в поле 14 кэ без давления и под давлением ( $\theta$  - угол поворота магнитного поля, отсчитываемый от направления  $[0001]$ ). Относительная величина этого максимума практически не зависит от напряженности поля, но зависит от температуры. Из рис. 2 видно, что форма максимума не меняется при понижении температуры. Дополнительный максимум хорошо воспроизводится у всех измеренных нами образцов в интервале давлений между 8 и 15 кбар.

При повышении давления выше 15 кбар обнаружено расщепление нового максимума. На рис. 3 показаны кривые  $\rho(\theta)$  в поле 14 кэ под давлением 15,5 кбар. Измерения под давлением выше 15 кбар проводились на двух образцах, и на обоих наблюдалось расщепление. При давлениях

ниже 14 кбар это расщепление, по-видимому, не имеет места, так как нам не удалось разрешить новый максимум ни понижением температуры до 1,5°К, ни изменением поля между 5 и 15 кэ.

Новый минимум соответствует направлению поля  $\vec{H} \parallel [0001]$  и резко углубляется с ростом давления. Последнее позволяет предположить возможность насыщения  $\rho(H)$  при более высоком давлении.

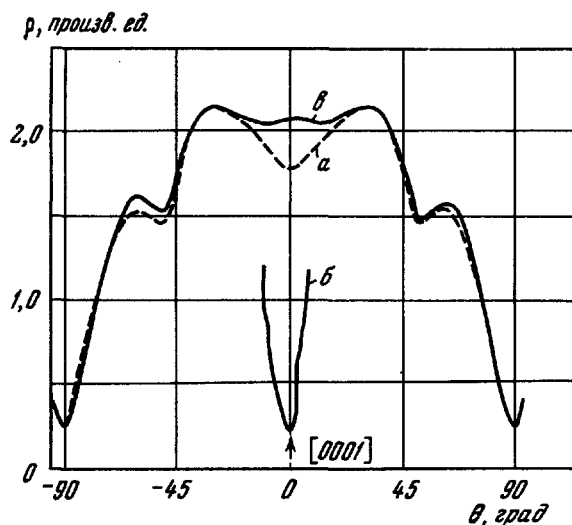


Рис. 1. Образец № 2,  $T = 4,2^\circ\text{K}$ ,  $H = 14\text{кэ}$ .  
 а - зависимость  $\rho(\theta)$  в широком интервале направлений поля без давления; б - усиленное в 10 раз  $\rho(\theta)$  в области между двумя главными максимумами при  $P = 0$ ; в -  $\rho(\theta)$  под давлением  $P = 13,5$  кбар, приведенное к одинаковому с кривой а усилению по обоим координатам

При всех давлениях при  $\vec{H} \parallel [0001]$  и в интервале углов  $\theta$  от  $-30^\circ$  до  $+30^\circ$  в минимумах и максимумах  $\rho(\theta)$  была измерена зависимость электросопротивления от напряженности магнитного поля. Однако существенного изменения по сравнению с  $\rho(H)$  при нулевом давлении обнаружено не было. Также не было обнаружено в этом интервале углов осцилляций электросопротивления в магнитном поле.

Естественно предположить, что возникновение дополнительного максимума, а затем его раздвоение связано с изменением поверхности Ферми кадмия и приобретением ее той же топологии, которую имеет цинк. Основные качественные отличия поверхностей Ферми обоих металлов

как раз имеет место в плоскости (0001) и должны отражаться на  $\rho(\theta)$  при  $\vec{H} \parallel [0001]$ .

Возникновение максимума нам не удалось объяснить в рамках возможных изменений поверхности Ферми кадмия.

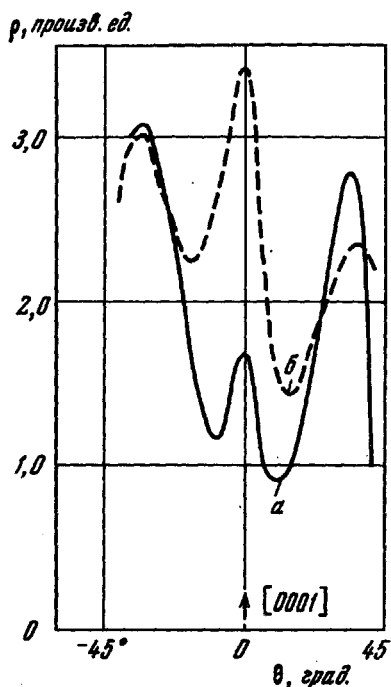


Рис. 2. Образец № 3,  $P = 12,5$  кбар,  $H = 14$  кэ. Зависимость  $\rho(\theta)$  между двумя главными максимумами: а - при  $T = 4,2^\circ\text{K}$ , б - при  $1,6^\circ\text{K}$

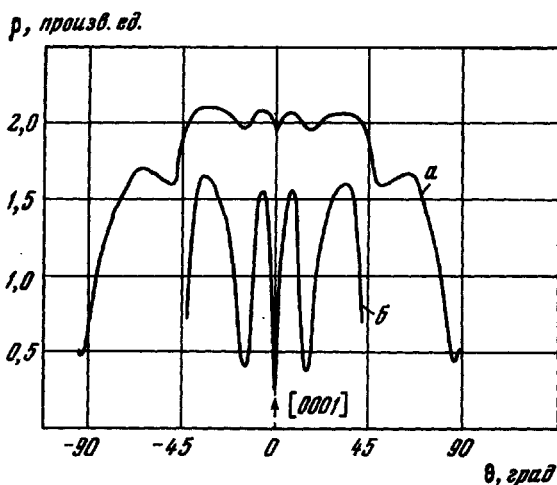


Рис. 3. Образец № 4,  $T = 4,2^\circ\text{K}$ ,  $P = 15,5$  кбар,  $H = 14$  кэ. а - зависимость  $\rho(\theta)$  в широком интервале направлений магнитного поля; б - усиленное в 10 раз  $\rho(\theta)$  в области между двумя главными максимумами

Уменьшение сопротивления при  $\vec{H} \parallel [0001]$  при давлении выше 15 кбар, видимо, связано либо с восстановлением целостности рукавов монстра, либо еще и с одновременным возникновением игл. Как показывает расчет<sup>1)</sup>, не имеет большого значения, что считать исходной дырочной поверхностью Cd-поверхность, принята в работе [1] или в [2]. При этом в плоскости (0001) могут возникнуть существенно большие замкнутые траектории для электронов проводимости или открытые траектории, параллельные плоскости (0001). Уменьшение  $\rho_{H=const}(0)$  должно произойти в обоих случаях: как при возникновении больших замкнутых, так и открытых траекторий. Резкая зависимость глубины но-

вого минимума от давления позволяет предположить возникновение открытых траекторий, для существования которых нужны и целостность монокристалла и образование игл.

Отсутствие осцилляций  $\rho(H)$  в описанных экспериментах может быть связано с тем, что при достигнутых давлениях слой открытых траекторий, обеспечивающих амплитуду магнитопробойных осцилляций [6], еще очень тонок. Но можно ожидать, что дальнейшее увеличение давления усилит глубину минимума  $\rho(\theta)$  и сделает возможным наблюдение насыщения и квантовых осцилляций в  $\rho(H)$ .

Полученные результаты позволяют предположить, что у кадмия происходит ряд изменений топологии поверхности Ферми, т.е. электронные переходы, предсказанные И.М.Лифшицем [7].

В заключение авторы считают своим приятным долгом поблагодарить проф. Л.Ф.Верещагина за внимание к работе, проф. И.М.Лифшица и А.Ф.Барабанова за обсуждение результатов.

Институт физики высоких давлений  
Академии наук СССР

Поступило в редакцию  
24 июня 1966 г.

#### Литература

- [1] D.F.Gibbons, L.M.Palico. *Philos. Mag.*, 8, 177, 1963;  
A.D.C.Graessie. *Philos. Mag.*, 2, 847, 1964.
- [2] D.C.Tsui, R.W.Stark. *Phys. Rev. Lett.*, 16, 19, 1966.
- [3] Н.Е.Алексеевский, Д.П.Гайдуков. *ЖЭТФ*, 43, 2094, 1962.
- [4] Д.П.Гайдуков, Е.С.Ицкевич. *ЖЭТФ*, 45, 71, 1963.
- [5] Е.С.Ицкевич, А.Н.Вороновский, А.Ф.Гаврилов, В.А.Сухопаров, *ПТЭ*, 1967, в печати.
- [6] Д.П.Гайдуков, И.П.Кречетова. *ЖЭТФ*, 49, 1411, 1965.
- [7] И.М.Лифшиц, *ЖЭТФ*, 38, 1569, 1960.

---

1) Расчет проведен А.Ф.Барабановым.