

Письма в ЖЭТФ, том 16, вып. 2, стр. 91 – 94.

20 июля 1973 г.

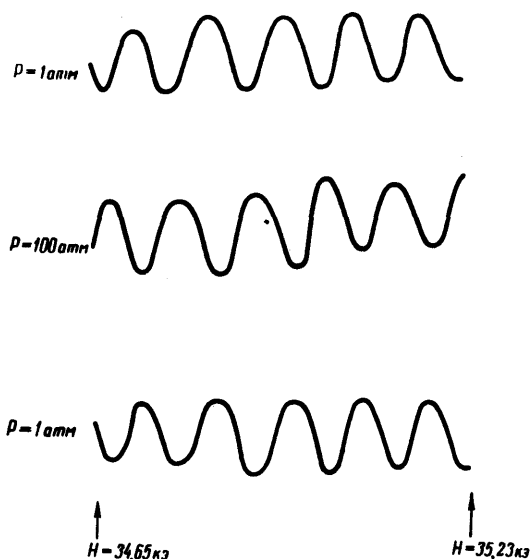
ВЛИЯНИЕ ДАВЛЕНИЯ НА ПОВЕРХНОСТЬ ФЕРМИ ЦИНКА

*В. А. Вентцель, О. А. Воронов, А. И. Лихтер,
А. В. Руднев*

Под влиянием давления происходит изменение параметров решетки, что приводит в свою очередь к изменению площади экстремальных сечений S поверхности Ферми (ПФ) как за счет изменения параметров зоны Бриллюэна (ЗБ), так и за счет изменения решеточного потенциала. Существенных изменений основных частей ПФ следует ожидать при давлениях порядка упругих модулей кристалла. Давления порядка 10 – 15 кбар при низких температурах, передающиеся с помощью твердой среды весьма негидростатичны, и это исключает возможность наблюдения больших сечений ПФ, очень чувствительных к неоднородным

деформациям. В настоящей работе с целью наблюдения влияния давления на большие сечения ПФ было использовано истинно гидростатическое давление до 100 бар, передаваемое жидким гелием. При этом получается коэффициент $d \ln S / dP$, который можно считать постоянным при давлениях существенно меньших модулей упругости.

Объектом исследования был выбран цинк, поскольку он обладает гексагональной решеткой с большой анизотропией сжимаемости [1], а его ПФ хорошо описывается в модели почти свободных электронов (приближение 1 ОПВ [2] и подробно изучена при атмосферном давлении [3 – 6]).



Пример записи осцилляций магнитного момента, связанных с сечением "сигары". Верхняя и нижняя кривая без давления, средняя – под давлением 100 атм

Влияние давления на малые электронные сечения ("иглу", вытянутую вдоль вертикального ребра НК третьей ЗБ) и на сложную многосвязную дырочную поверхность в первой и второй ЗБ ("монстр") исследовалось в ряде работ [7 – 9], однако не было дано удовлетворительной интерпретации этих данных с учетом решеточного потенциала.

Измерение площадей экстремальных сечений ПФ производилось путем наблюдения эффекта де Гааза – ван Альфена модуляционным методом на 12-й гармонике модулирующего сигнала в поле сверхпроводящего соленоида до 50 кэ при температуре $2 + 4,2^\circ\text{К}$. Подробное описание всех узлов установки будет приведено в отдельном сообщении.

Экспериментально наблюдался сдвиг фазы осцилляций при некотором фиксированном поле H_0 : $\Delta F / F = (H_0 / F)(\Delta \phi / 2\pi)$, где $F = \hbar c S / 2\pi e$. Постоянство величины магнитного поля контролировалось компенсационным методом с помощью фотоусилителя Ф-116/2. Для исключения возможного дрейфа нуля фотоусилителя производилось многократное поднятие и стравливание давления с целью усреднения результатов.

Измерения проводились на образцах трех типов в виде стержней $5 \times 1 \times 1 \text{ мм}^3$, вытянутых вдоль одной из основных кристаллографических осей ($[0001]$, $[10\bar{1}0]$ и $[11\bar{2}0]$). В табл. 1 приведены данные по измерению частот осцилляций, соответствующих сечениям электронных частей ПФ – "линза", "бабочке", "сигаре", "игле" и дырочной части ("монстра"), а также данные об изменении этих сечений с давлением.

Т а б л и ц а 1

Направление магнитного поля	Сечение ПФ	$S (\text{Å}^{-2})$		$d \ln S / dP$ $10^{-3} \text{ кбар}^{-1}$		
		Прибл. 1 ОПВ	Экспер.	Прибл. 1 ОПВ	Экспер. ¹	Литерат. данные
[0001]	Линза	2,65	2,0 [5]	- 1,74	-	-
	Бабочка	0,12	0,102	- 38,1	- 11 ± 1	-
	Сигара	0,12	0,105	- 38,1	- 14 ± 1	-
	Игла	0,00030	0,00015	+ 130	+ 282 ± 7	+ 329 ± 15 [9] 120 ± 30 [7]
28,5°K [0001]	Монстр γ	0,06	0,0426	- 8 [9]	- 12,5 ± 0,3	- 12,7 ± 0,7 [9]
[1010]	Линза	0,73	0,695	- 3,48	- 3,1 ± 0,4	-
	Монстр σ	-	0,325	-	- 4,4 ± 1,4	-
[1120]	Линза	0,73	0,690	- 3,48	- 3,0 ± 0,4	-
	Монстр σ	0,34	0,257	- 7,03	- 5,1 ± 0,4	-
	Монстр β	0,045	0,0043	+ 28 ¹ [9]	+ 42,5 ± 0,5	+ 39,4 ± 1 [9]

¹) Модифицированное 1 ОПВ

Там же приведены литературные данные о влиянии квазигидростатического давления на ПФ цинка.

В случае "линзы" полученные данные можно сравнить с предсказаниями теории в приближении 2 ОПВ и разделить факторы, влияющие на изменение площади S из-за изменения размеров ЗБ и радиуса фермиевской сферы k_F и из-за изменения матричного элемента V_{0002} потенциалом решетки.

Т а б л и ц а 2

V_{0002} , Ридберг		$\frac{d V_{0002} }{d(q/2k_F)} \Big _{q=2b}$, Ридберг		$\frac{1}{ V_{0002} } \frac{d V_{0002} }{dP}$, кбар ⁻¹	
Анималу – Хейне	Эксперимент	Анималу – Хейне	Эксперимент	Анималу – Хейне	Эксперимент
- 0,014	- 0,058	- 0,4	- 0,5	- 1,6 · 10 ⁻²	- 0,49 · 10 ⁻²

В приложении 2 ОПВ сечения линзы плоскостями $(10\bar{1}0)$ и $(11\bar{2}0)$ можно считать эллисом, площадь которого зависит от давления как $d \ln S / dP = (-3,8 \cdot 10^{-3} - 0,16 (d \ln |V_{0002}| / dP)) \text{ кбар}^{-1}$. Абсолютная величина матричного элемента потенциала была выбрана исходя из площади экстремального сечения "линзы" плоскостью (0001) [5]. Эта величина приведена в табл. 2, где дано также сравнение с потенциалом Анималу – Хейне [10]. Полученная из эксперимента величина $d \ln |V_{0002}| / dP$ и рассчитанная из сжимаемости [1] величина $d |V_{0002}| / d(q/2k_F)$ при $q = 2b$ также приведены в табл. 2. Для других сечений невозможно в явном виде разделить изменение площади S за счет изменения параметров решетки и отдельных матричных элементов потенциала. Экспериментальные величины матричных элементов и их производные $d |V_q| / d(q/2k_F)$ при трех значениях обратного вектора q будут получены из машинной обработки данных.

Авторы выражают глубокую благодарность Л.Ф.Верещагину за постоянный интерес к работе.

Институт физики
высоких давлений

Поступила в редакцию
14 июня 1972 г.

Литература

- [1] G.A.Alers, J.R.Neighbours. J. Phys. Chem. Sol., 7, 58, 1958.
- [2] W.A.Harrison. Phys. Rev., 118, 5, 1960.
- [3] A.S.Joseph, W.L.Gordon. Phys. Rev., 126, 2, 1962.
- [4] R.I.Higgins, I.A.Marcus, D.H.Whitmor Phys. Rev., 137, A1172, 1965.
- [5] В.А.Вентцель, А.И.Лихтер, А.В.Руднев. ЖЭТФ, 53, 1, 1967.
- [6] В.А.Вентцель, А.И.Лихтер, А.В.Руднев. Письма в ЖЭТФ, 6, 216, 1966.
- [7] Ю.П.Гайдуков, Е.С.Ицкевич. ЖЭТФ, 45, 71, 1963.
- [8] W.J.O'Sullivan, J.E.Schirber. Phys. Lett., 18, 3, 1965
- [9] W.J.O'Sullivan, J.E.Schirber. Phys. Rev., 151, 2, 1966.
- [10] A.O.E.Animalu, V.Heine. Phil Mag., 12, 1249, 1965.