

ВЛИЯНИЕ ДАВЛЕНИЯ НА ЭФФЕКТ ДЕ ГААЗА – ВАН АЛЬФЕНА В НИКЕЛЕ

Л.И.Винокурова, А.Г.Гапотченко, Е.С.Ицкевич

Приведены экспериментальные результаты по измерению под давлением до 11 кбар эффекта де Гааза – ван Альфена у ферромагнитного никеля. Сделаны заключения об изменении малых частей ферми-поверхности.

Измерение изменений соответствующих частей ферми-поверхности (ФП) под давлением позволило бы проверить модели электронного спектра переходных металлов.

Многие параметры этих моделей по разному чувствительны к изменению межатомного расстояния [1]. Изменение относительного положения s - и d -зон в зависимости от объема приводит, например, к перетеканию электронов проводимости из одной зоны в другую и к изменению ФП. Эффект ДГВА является удобным и надежным инструментом для получения таких сведений.

В настоящей статье мы сообщаем предварительные данные по измерению эффекта ДГВА под давлением $3d$ -переходного металла – никеля. В ферромагнитном состоянии никель имеет ГЦК структуру и достаточно простую ФП. Уровень Ферми у никеля проходит внутри d -зоны, ниже ее потолка. На рис. 1 изображено сечение ФП никеля в плоскости симметрии (1 $\bar{1}0$), полученное расчетом и приведенное в [2].

Как было показано Сухопаровым и Темплетоном модуляционная методика [3] вполне подходит для измерений эффекта ДГВА с помощью

камеры фиксированного давления [4]. Нами была использована подобная методика для измерений эффекта ДГВА у монокристаллических образцов Ni ($\alpha \equiv \rho_{360\text{K}} / \rho_{4,2\text{K}} \approx 3000$), вырезанных в форме параллелепипедов $1 \times 1 \times 3\text{ мм}^3$, при температуре 1,5K, под давлением до 11 кбар в камерах типа [4] с керосино-масляной смесью в качестве среды для передачи давления. Вся система приемных и модуляционных катушек находилась внутри камеры. Магнитное поле до 80 кэ создавалось сверхпроводящим соленоидом. Направления осей образца и соленоида совпадали.

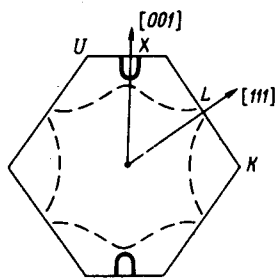


Рис. 1. Сечение зоны Бриллюэна никеля плоскостью (100). Пунктирная линия соответствует листу ФП "спин вверх", сплошная — "спин вниз"

Осцилляции измерялись у трех образцов, имевших следующие направления осей образца относительно поля ($\mathbf{H} \parallel [111]$, $\mathbf{H} \parallel [100]$ и $\mathbf{H} \parallel [112]$). Для образца [111] в интервале полей $10 \div 80$ кэ при всех давлениях отчетливо наблюдались осцилляции, частота которых соответствует сечению плоскостью (111) "шейки", соединяющей в схеме повторяющихся зон электронные квазисферические части s -поверхности шестой зоны для листа ФП "спин вверх" (точка L на рис. 1). В полях $60 \div 80$ кэ на них накладывались осцилляции, соответствующие экстремальному сечению (111) эллипсоида d -дырок четвертой зоны для листа "спин вниз" с центром в точке X .

У образца [100] осцилляции наблюдались в интервале полей $35 - 80$ кэ также во всем интервале давлений. Эти осцилляции связаны с тем же эллипсоидом, но соответствуют экстремальному сечению, параллельному плоскости (100).

При ориентации поля $\mathbf{H} \parallel [112]$, промежуточной между выше упомянутыми, осцилляции наблюдались начиная с ~ 35 кэ и соответствовали сечению "шейки" плоскостью (112). При величине поля ~ 45 кэ на наблюдаемую картину накладывались еще осцилляции от d -дырочного эллипсоида.

Частоты всех этих осцилляций при нулевом давлении согласуются с данными [2] в пределах точности установки осей образца относительно направления поля.

На рис. 2 изображены зависимости величины частот осцилляций от давления. Все зависимости в интервале давлений $0 - 10$ кбар носят линейный характер и соответствующие наклоны очень малы. Величины соответствующих производных по давлению приведены в таблице. Результаты обработаны по методу наименьших квадратов. На рис. 2 приведена дисперсия отклонения точек от прямой, в таблице — дисперсия барического коэффициента.

Величина $d \ln S(100)/dp$ очень мала и, по-видимому, величина эффекта не больше чем сумма случайных и систематических (связанных

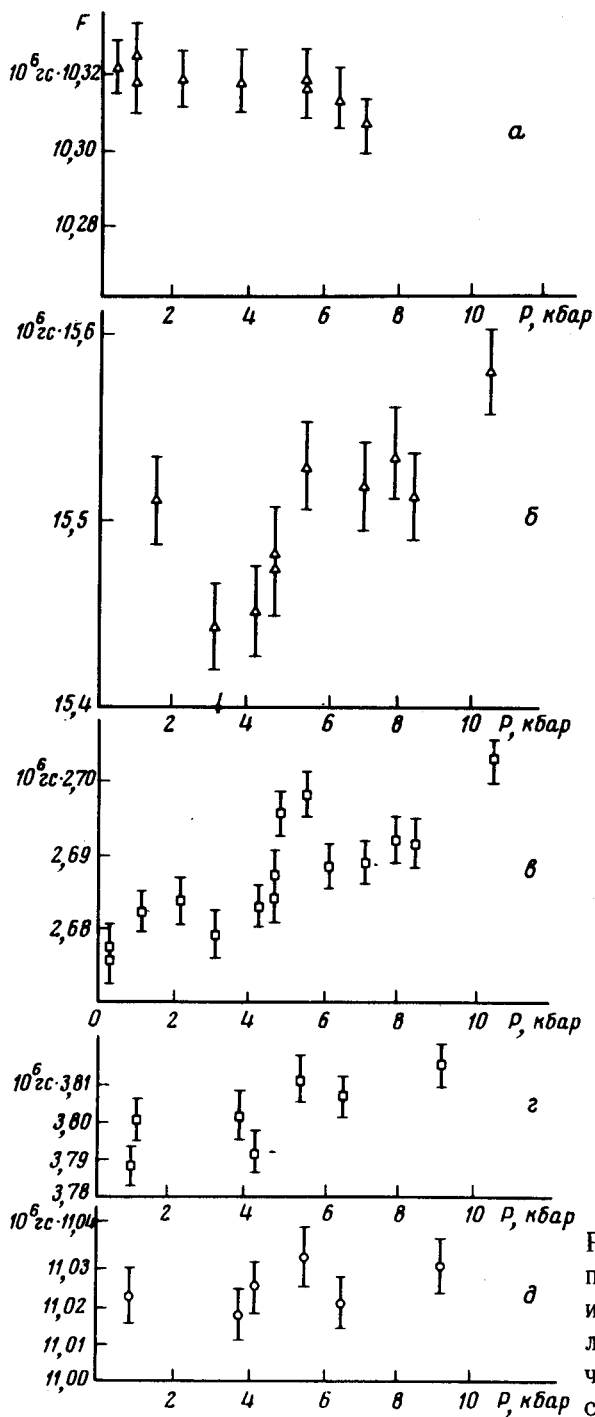


Рис.2. Изменение частоты F под давлением. Буквенные индексы на рисунках и в таблице указывают к какому сечению принадлежит данная частота

с возможностью отклонения оси образца под давлением) ошибок. Отдельные серии измерений с этим образцом давали значение производной от $-1,6$ до $0,1 \cdot 10^{-4} \text{ кбар}^{-1}$.

Кроме того, трудность измерения самых малых изменений ДГВА частот у ферромагнетиков обуславливается также существованием специфического эффекта "отражения", связанного с присутствием ферромагнетика в поле сверхпроводящего соленоида, влияние которого на осцилляции ДГВА отмечалось в [5].

Плоскость, в которой находится S_{extr}	Часть ферми-поверхности				
	Шейка спин \uparrow		Эллипсоид спин \downarrow		
	$(111)_g$	$(112)_z$	$(111)_b$	$(112)_d$	$(100)_a$
$\frac{d \ln S_{extr}}{dp}$ $10^{-4} \text{ кбар}^{-1}$	$8,0 \pm 1,2$	$6,6 \pm 2,5$	$6,6 \pm 2,5$	$1,5 \pm 0,8$	$-0,8 \pm 0,8$

Мы не вносили поправки на изменение по давлению размагничивающего фактора и намагниченности в насыщении. Величина внутреннего поля была оценена равной 6500 э. Независимость величины $d \ln S / dp$ от величины магнитного поля при его изменении в восемь раз подтверждает обоснованность этой процедуры.

Когда мы заканчивали нашу работу, нам стали известны предварительные данные измерений некоторых из этих сечений у Ni, приведенные в докладе Андерсона, Ширбера и др. на конференции по магнетизму и магнитным материалам в США в 1975 г. [6]. Они получены путем измерения фазового сдвига осцилляций ДГВА под давлением жидкого (до 25 бар) и твердого (до 3 кбар) гелия. Авторы получили различные значения $d \ln S_{эл} (111) / dp$: $(-4 \pm 2) \cdot 10^{-4} \text{ кбар}^{-1}$ в жидком гелии и $(6 \pm 1) \cdot 10^{-4} \text{ кбар}^{-1}$ в твердом гелии. Для $d \ln S (100)_{дыр.} / dp$ они получили значение $(1,2 \pm 0,3) \cdot 10^{-4} \text{ кбар}^{-1}$ только в твердом гелии (в жидком гелии фазовый сдвиг не был получен). Авторы указывают, что они не могут объяснить расхождения в своих результатах и собираются повторить измерения.

Из наших данных следует, что дырочный эллипсоид под давлением увеличивает свою анизотропию: его малое сечение почти не меняется, а большое — увеличивается.

К сожалению, в настоящее время нет еще количественной модели для описания ФП никеля при $P = 0$. В то же время есть достаточное количество физических соображений, показывающих, что давление меняет целый ряд параметров зонной структуры и меняет их по разному. В этой связи получение экспериментальных данных по влиянию давления на поверхность Ферми никеля является крайне необходимым.

Литература

- [1] И.В.Свечкарев, А.С.Панфилов. Влияние давления на электронную структуру переходных *d*-металлов. Препринт ФТИНТ АН УССР 1973 г.
- [2] D.C.Tsui. Phys. Rev., **164**, 667, 1967.
- [3] I.M.Templeton. Proceedings of the Royal Soc., **A292**, 413, 1966.
- [4] Е.С.Ицкевич. ПТЭ, №4, 148, 1963.
- [5] L.Hodges, D.R.Stone, A.V.Gold. Phys. Rev. Lett., **19**, 655, 1967.
- [6] J.R.Anderson, P.Heiman, J.E.Schirber, D.R.Stone. AJP Conference Proceedings, №29, Magnetism and Magnetic Materials - 1975, USA.
-