

**ЭФФЕКТ ДЕ ГААЗА - ВАН АЛЬФЕНА В ЦИНКЕ В ИМПУЛЬСНЫХ
МАГНИТНЫХ ПОЛЯХ**

В.А.Вентцель, А.И.Лихтер, А.В.Руднев

Настоящая работа посвящена изучению эффекта де Гааза - ван Альфена в цинке в импульсных магнитных полях до 75 кэ. Эксперименты в статических магнитных полях до 30 кэ [1,2] (обзор ранних работ

216

дан в работе Джозефа и Гордона [1]) не давали достаточно полной картины высокочастотных осцилляций, связанных с большими частями поверхности Ферми. Связь эта, как известно, дается соотношением $F^2 = cS/2\pi e\hbar$ [2], где F - частота осцилляций, выраженная в эрстедах, а S - площадь экстремального сечения поверхности Ферми плоскостью, перпендикулярной направлению магнитного поля в k -пространстве в единицах $(2\pi/\text{Å})^2$.

Импульсное магнитное поле получалось при разрядке через катушку индуктивности батареи конденсаторов емкостью 2000 мкф, заряженной до 2100 в. Пробная катушка с образцом помещалась в центре соленоида и ее ось могла вращаться относительно направления магнитного поля на $\pm 30^\circ$. Элементы установки будут подробно описаны в отдельной статье. Поскольку поверхность Ферми цинка очень сложна и имеет большое число экстремальных сечений во всех направлениях магнитного поля (рис.1), для выделения частот, связанных с каждым типом сечения, была использована резонансная методика [4] с частотой резонанса 33 кгц.

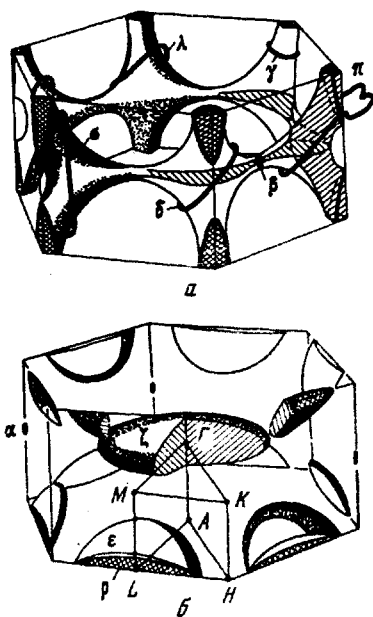
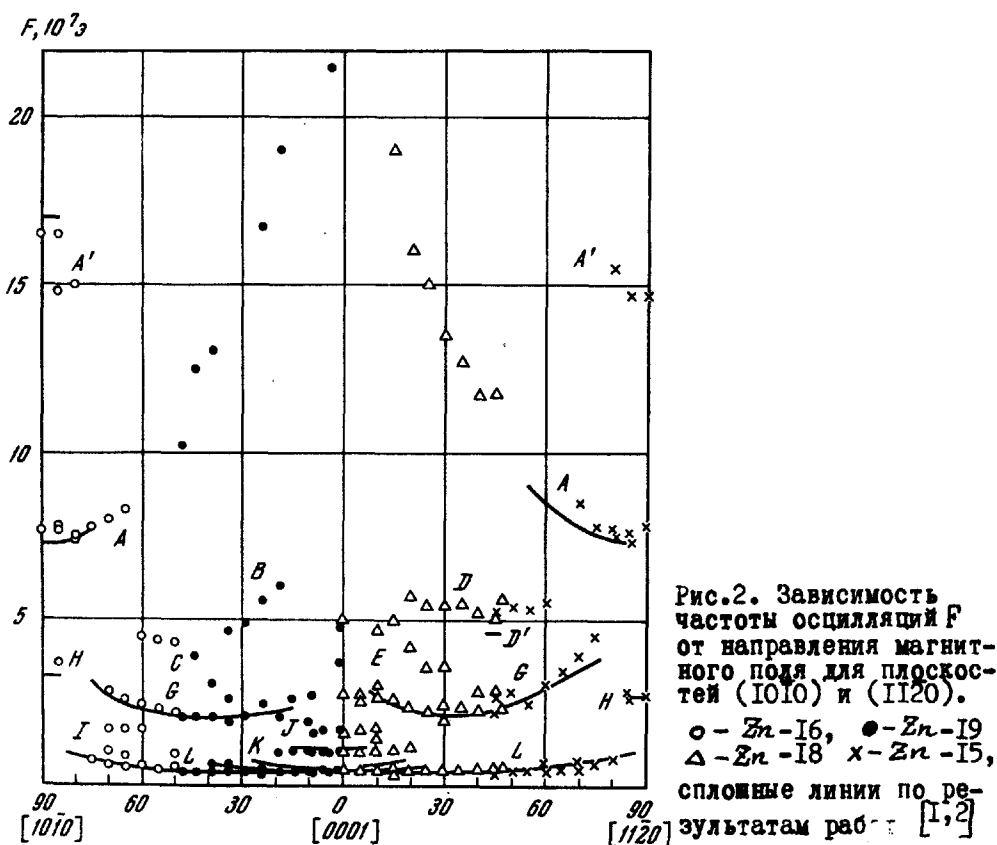


Рис.1. Вид поверхности Ферми цинка с учетом спин-орбитального взаимодействия (из работы Шоу и др., Phys.Rev., 142, 399, 1966)

Экспериментальные результаты и литературные данные приведены на рис.2, где буквами от А до К обозначены серии точек, отождест-

вляемые с каким-либо сечением. Частоты G , H , L согласуются с данными, полученными в статических полях, где они связываются соответственно с сечениями δ , σ и γ (рис.1). Сечения, соответствующие частоте A , возможны только на центральной линзе в третьей зоне (ζ на рис.1). Полученные значения частот ($\sim 22 \cdot 10^7$ э вдоль $[000\bar{1}]$ и $7,7 \cdot 10^7$ э в базисной плоскости) согласуются с предсказаниями модели почти свободных электронов [5], а сравнение с данными Пристли и Мондино [6] показывает совпадение для минимального сечения и расхождение на 20% для максимального, что может быть связано с малостью амплитуды вблизи $[000\bar{1}]$. Частота A' вблизи базисной плоскости является, по-видимому, гармоникой частоты A .



Частота D существует в интервале углов от 20° до 60° в плоскости $(10\bar{1}0)$, имеет слабо выраженный минимум при $40 + 50^\circ$, равный $5,3 \cdot 10^7$ э, и возрастает к 20° до величины $5,7 \cdot 10^7$ э. Эта частота наблюдалась Хиггинсом и др. [2] в районе 45° и по величине

составляла $4,6 \cdot 10^7$ э (линия \mathcal{D}' на рис.2). Для объяснения такой частоты предполагается существование орбиты \mathcal{K} (рис.1) в двухзонной модели, т.е. в случае магнитного пробоя спин-орбитальной щели. Эта орбита должна проходить вдоль диагонального рукава монстра от места ее соединения с горизонтальными перемычками до угла зоны Бриллюэна и далее по примыкающим диагональным рукавам монстров соседних ячеек в расширенной зонной схеме. По оценке Хиггинса и др.^[2] соответствующая частота должна быть $6,5 \cdot 10^7$ э, а, исходя из геометрических соображений, экстремальное сечение должно существовать в широком интервале углов (примерно от 20° до 75°).

В той же плоскости имеется частота E, равна $5 \cdot 10^7$ э в 10° от $[0001]$ и убывающая до уровня частоты G при 50° ($\sim 2,5 \cdot 10^7$ э); амплитуда этих осцилляций невелика. Для объяснения этой частоты можно предположить наличие магнитного пробоя между монстрами в расширенной второй зоне через иглу в третьей зоне, как это предположено Пристли для магния (орбита \mathcal{Z} на рис.12,а в работе Пристли^[7]). Оценка по модели свободных электронов дает возрастание частоты от $3 \cdot 10^7$ э при 50° до $5,7 \cdot 10^7$ э при 20° . При этом нужно учесть, что охватывающие монстр орбиты не являются косыми сечениями \mathcal{D} , а проходят лишь вокруг одного горизонтального рукава.

В плоскости $(\Pi\bar{2}0)$ вблизи направления $[0001]$ наблюдается частота B, возрастающая от $4,6 \cdot 10^7$ э при 35° до $6 \cdot 10^7$ э при 20° . Частота B может быть связана с орбитой того же типа, что и в случае частоты \mathcal{D} . Это следует из одинаковой величины частот, однако возможно, по-видимому, и другое истолкование, например, пробой через иглу или орбита типа \mathcal{L} на рис.1.

Частоты C между 30° и 60° и J вблизи направления $[0001]$ соответствуют, по-видимому, одному и тому же сечению, а именно-орбите \mathcal{E} на рис.1, проходящей по поверхности, образуемой двумя пересекающимися дисками (четырёхкрылая "бабочка"). Вблизи 30° C имеет значение $4,5 \cdot 10^7$ э, а J вблизи $[0001]$ - $1,7 \cdot 10^7$ э. F^{-2} в зависимости от $\cos 2\psi$ для частоты C-J представляет собой прямую линию, что может служить доказательством эллипсоидальности поверх-

ности. По мере приближения к оси $[10\bar{1}0]$ происходит пробой спин-орбитальной щели и эта часть поверхности Ферми из "бабочки" в третьей зоне и "сигары" в четвертой переходит в "раковину", характерную для двойной третьей-четвертой зоны Бриллюэна. Частота Γ ($1,7 \cdot 10^7$ э) может соответствовать сечению такой "раковины", а частота K - сечению "сигары" ($1,1 \cdot 10^7$ э).

Ввиду сложности поверхности Ферми цинка не исключено, что предложенная интерпретация не является вполне однозначной.

В заключение авторы считают своим приятным долгом выразить благодарность Л.Ф.Верещагину за интерес к работе и А.П. Кочкину за ценные дискуссии при интерпретации результатов.

Институт физики высоких давлений
Академии наук СССР

Поступило в редакцию
24 июня 1966 г.

Литература

- [1] A.S. Joseph, W.L. Gordon. Phys.Rev., 126, 489, 1962.
- [2] R.J.Higgins, J.A.Marcus, D.H.Whitmore. Phys. Rev., 137 A1172, 1965.
- [3] И.М.Лифшиц, А.М.Косевич. ЖЭТФ, 29, 730, 1955.
- [4] D.Shoenberg. Phil. Trans.Roy. Soc., A255, 85, 1962.
- [5] W.A.Harrison. Phys.Rev., 118, 1190, 1960; Phys.Rev., 126, 497, 1962.
- [6] M.G.Priestley, M.Mondino. Bull. Amer.Phys.Soc., 9, 551, 1964.
- [7] M.G.Priestley. Proc.Roy. Soc., A276, 258, 1963.