

О КРИТИЧЕСКИХ НАПРАВЛЕНИЯХ В ПОГЛОЩЕНИИ ЗВУКА МЕТАЛЛОМ

И. М. Суслов

Показано, что особенности в угловой зависимости коэффициента поглощения звука, связанные с линиями нулевой кривизны поверхности Ферми, могут находиться в направлениях высокой симметрии. Предсказано положение особенностей в ряде металлов и проведено сравнение с экспериментом.

В последнее время в ряде работ [1, 2] предсказаны особенности в угловой зависимости поглощения звука Γ , связанные с наличием на поверхности Ферми металла линий параболических точек. Однако до настоящего времени эти особенности не наблюдались экспериментально, хотя количество измерений поглощения звука велико. По мнению авторов [1], основная трудность состоит в том, что критические направления (направления, в которых имеются особенности) являются случайными по отношению к кристаллографическим осям.

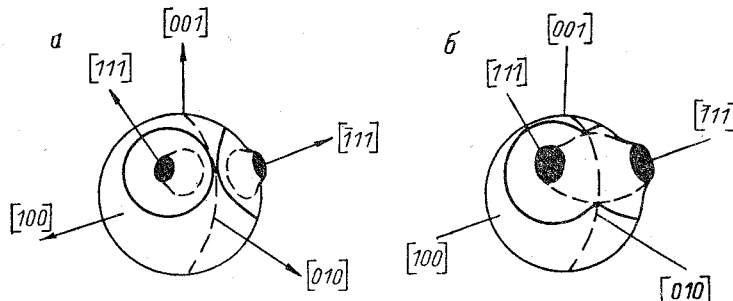


Рис. 1. Перемещение особенности в симметричное направление при увеличении интерференции между двумя перешейками: *a* — интерференция мала, *б* — интерференция велика.

Жирные линии — параболические точки; штриховые — «пояски» $v_n=0$ для $\mathbf{n} \parallel [100]$.

Однако более подробный анализ показывает, что довольно часто встречаются благоприятные ситуации, когда особенности по систематическим причинам оказываются в симметричных направлениях. Это иллюстрируется на рис. 1 на примере металлов с перешейками (например, благородных). Если интерференция между перешейками незначительна (рис. 1, *a*), то параболические точки образуют пояски вокруг отдельных перешейков. Если же интерференция достаточно велика, то эти пояски сливаются в одну замкнутую кривую (рис. 1, *б*); в этом случае оказывается критическим направление, перпендикулярное плоскости симметрии поверхности, проходящей между перешейками (ясно, что это направление высокой симметрии — на рис. 1 это $[100]$). Действительно, нетрудно убедиться, что «поясок» эффективных электронов $v_n=0$ (v — фермиевская скорость, \mathbf{n} — единичный вектор в направлении волнового вектора звука \mathbf{q}) для этого направления с необходимостью имеет самопересечение

(рис. 1, б), что согласно [1], свидетельствует о наличии логарифмической особенности.

Анализ топологии Ферми-поверхностей благородных металлов с помощью аналитического представления Хэлса [3] показывает, что в Ag реализуется ситуация рис. 1, а, а в Cu и Au — ситуация рис. 1, б, следо-

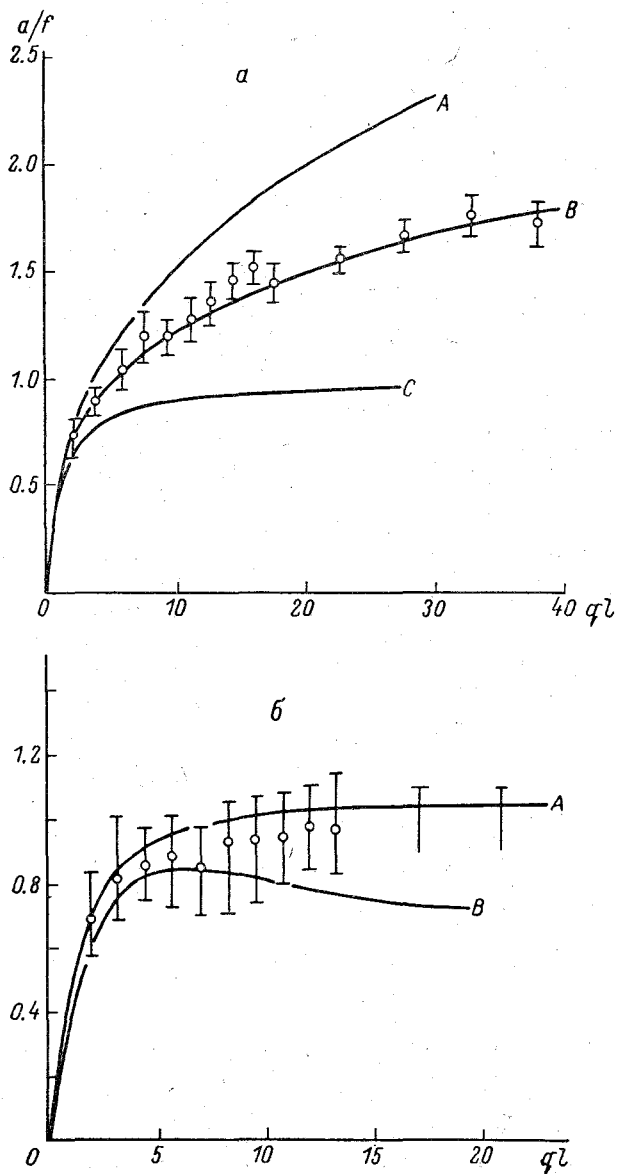


Рис. 2. Экспериментальная зависимость Γ/ω от ql в Cu (точки).
а — направление [100], б — направление [111] (из работы [4]).

вательно, в последних имеется логарифмическая особенность в направлении [100]. Последний вывод фактически получен в работе [4] путем численных расчетов, однако авторы решили, что он противоречит их экспериментальным результатам. Рассмотрим, так ли это на самом деле.

Согласно [1], особенности размываются из-за ряда факторов, основным из которых является конечность длины свободного пробега электронов l . Поэтому размытие особенности происходит на углах $\delta\gamma \sim 1/ql$, и значение Γ в критическом направлении отличается от остальных направлений на фактор $\ln ql$. Для обычных направлений при $ql \gg 1$ Γ пропор-

ционален частоте ω , следовательно, для критических направлений $\Gamma \sim \omega \ln ql$. Поэтому при точном попадании в особенность отношение Γ/ω при увеличении ql обнаруживает медленный рост вместо выхода на насыщение. Как видно из рис. 2, для направления $[100]$ в Cu Γ/ω растет вплоть до $ql=40$, тогда как для направления $[111]$ выходит на константу уже при $ql \approx 5$. Таким образом, результаты работы [4] подтвер-

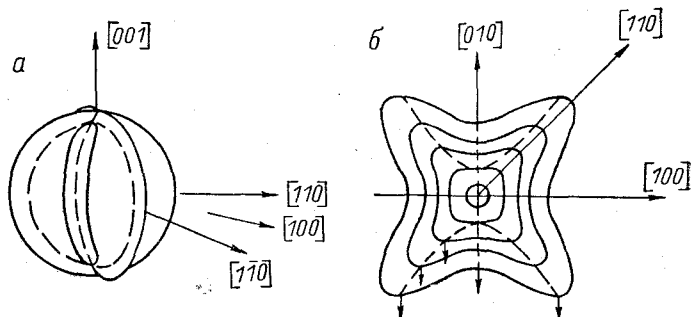


Рис. 3. Поверхность типа «сдвоенный блин», имеющаяся в 4 зоне Sn.

a — общий вид, *b* — вид со стороны направления $[001]$, показано несколько линий уровня. Жирные линии — параболы; штриховые — полюсы $v_n=0$ для $n \parallel [100]$. Стрелки указывают проекции нормали к поверхности на плоскость (001) .

ждают наличие особенности в направлении $[100]$ у Cu; для более убедительного доказательства следует провести измерение угловой зависимости Γ .

Интерференция между брэгговскими плоскостями приводит к перемещению особенностей в симметричные направления довольно часто. Например, поверхность типа «сдвоенный блин» (рис. 3), имеющаяся в четвертой зоне Sn, также обуславливает логарифмическую особенность в направлении $[100]$. Экспериментальная угловая зависимость Γ для Sn [5] (рис. 4)

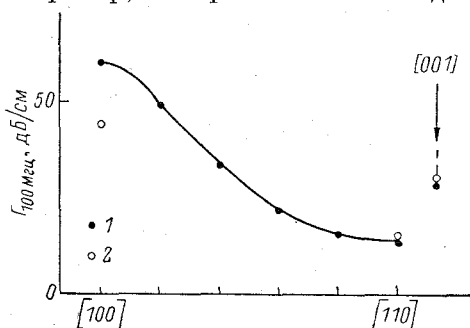


Рис. 4. Экспериментальные данные по поглощению звука в Sn для направлений n в плоскости (001) .

1 — [5], 2 — [6, 7].

убедительно показывает максимум в этом направлении. Связь этого максимума с особенностью подтверждается тем, что в работах [6, 7] (в которых использовались значительно меньшие значения ql , чем в [5]) для направления $[100]$ получено более низкое значение Γ (рис. 4), тогда как для других направлений результаты [5] и [6, 7] хорошо согласуются.

В заключение укажем еще ряд металлов, в которых возможно наблюдение особенностей в симметричных направлениях: Cd (направление $[1010]$), W, Mo, Cr ($[110]$), V, Nb, Ta ($[110]$) — в поверхностях Ферми этих металлов содержатся листы, аналогичные изображенному на рис. 3 [8] (поверхность, образованная расчленением «монстра», у Cd, октаэдрон в H у металлов группы W, дырочная поверхность в Γ у металлов группы V).¹

Автор благодарит М. И. Каганова за прочтение работы в рукописи и плодотворные обсуждения.

¹ Поверхности Ферми металлов групп W и V изучены недостаточно детально; указанные листы поверхностей могут не иметь вогнутых участков (как на рис. 3), а быть полностью выпуклыми, тогда предсказываемые особенности в Γ будут отсутствовать.

Литература

- [1] Г. Т. Аванесян, М. И. Каганов, Т. Ю. Лисовская. Письма ЖЭТФ, 25, 381, 1977; ЖЭТФ, 75, 1736, 1978.
- [2] В. М. Конторович, Н. А. Степанова. ФТТ, 20, 245, 1978.
- [3] M. R. Halse. Phil. Trans. Roy. Soc., A265, 507, 1969.
- [4] R. E. MacFarlane, J. A. Rayne. Phys. Rev., 162, 532, 1967.
- [5] J. M. Perz, E. R. Dobbs. Proc. Roy. Soc., 297, 408, 1967.
- [6] T. Olsen. J. Phys. Chem. Sol., 24, 649, 1963.
- [7] А. Г. Шепелев, Г. Д. Филимонов. ЖЭТФ, 51, 746, 1966.
- [8] A. P. Cracknell. The Fermi Surfaces of metals. London, 1971.

Институт физических проблем АН СССР
Москва

Поступило в Редакцию
2 декабря 1980 г.
