

ОСЦИЛЛЯЦИОННЫЙ ЭФФЕКТ ОТКЛОНЕНИЯ В МЕТАЛЛЕ В СЛАБОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ

О.П.Леденев

Обнаружен эффект отклонения в металле в слабом магнитном поле, характерными особенностями которого являются осцилляции поглощения звука, предсказанные в ¹. Найдены размер нецентрального сечения поверхности Ферми и скорость электронов в галлии. В области малых частот звука наблюдался "обратный" эффект отклонения.

1. Эффект отклонения (ЭО) во взаимодействии электронов проводимости со звуком известен давно. ² и наблюдался во многих металлах, в том числе и в галлии ³. ЭО проявляется в виде резкой зависимости поглощения и дисперсии скорости звука от угла отклонения φ магнитного поля \mathbf{H} от направления ортогонального направлению распространения звука \mathbf{q} . Являясь эффективным методом нахождения скорости электронов проводимости на поверхности Ферми (ПФ), ЭО исследовался обычно в области больших магнитных полей при $qR \ll 1$ (q, λ — волновой вектор и длина звуковой волны, $|q| = 2\pi/\lambda$; R — ларморовский радиус электронной траектории в магнитном поле).

В последнее время было предпринято углубленное теоретическое исследование возможности существования ЭО в слабых магнитных полях при $qR \gg 1$ ^{1, 4, 5}. В ¹ был предсказан новый осцилляционный эффект отклонения (ОЭО), который должен проявляться в этой области полей. Эффект оказывался интересен тем, что кроме скорости электронов он позволял бы находить размеры нецентральных сечений поверхности Ферми металлов. В ⁵ теория ОЭО была развита для металлов и полуметаллов с многосвязными поверхностями Ферми. В экспериментальной части работы ⁴, где было проведено исследование ЭО в вольфрам при $qR > 1$, ОЭО не наблюдался. Представляло интерес попытаться наблюдать ОЭО в металле в более слабом магнитном поле.

2. В настоящем сообщении исследование зависимости поглощения звука от угла отклонения проведено в галлии в монокристаллических образцах с длиной свободного пробега электронов $l \sim 1$ см. Последнее обстоятельство позволило почти на два порядка уменьшить величину магнитного поля по сравнению с ⁴. Измерения проведены импульсной методикой в поле $H = 42,3$ Э при температуре $T = 1,2$ К. Образец, который вырезался электроэрозийным способом из монокристалла больших размеров, имел цилиндрическую форму с диаметром ~ 1 см и длиной около 2 см. К плоскошлифованным торцевым поверхностям с помощью кремнийорганической жидкости крепились кварцевые преобразователи X-среза на основную частоту 10 МГц. Продольная ультразвуковая волна распространялась вдоль кристаллографической оси с галлия. Кристаллографическая ориентация образца осуществлялась рентгеновски с точностью $\sim 0,1^\circ$. Магнитное поле Земли компенсировалось специальной магнитной системой. Измерительное поле \mathbf{H} создавалось парой катушек Гельмгольца и могло вращаться в плоскости перпендикулярной оси образца, а также отклоняться от нее до углов $\sim 6^\circ$. Вспомогательная пара катушек Гельмгольца позволяла проводить исследования и в области больших φ .

3. В ходе экспериментальных исследований было выяснено, что в указанном магнитном поле в галлии существует ОЭО, характерной особенностью которого являются осцилляции в зависимости поглощения $\Gamma(\varphi)$ в области малых φ . Экспериментальная кривая приведена на рис. 1. Частота звуковой волны $\omega/2\pi = 150$ МГц. Магнитное поле при $\varphi = 0$ ориентировано в направлении оси a , с ростом φ оно отклоняется в направлении c . На экспериментальной зависимости виден острый максимум поглощения и вслед за ним осцилляции $\Gamma(\varphi)$. Эксперимент качественно согласуется с зависимостью, предсказываемой теорией. Величина qR в нашем случае равна 40, что и обуславливает остроту первого максимума поглощения при $\varphi = \varphi_k$. Используя соотношение ¹ $\sin \varphi_k = S/v$, была найдена скорость электронов $v \approx$

$\approx 4 \cdot 10^7$ см/с. Эта величина находится в хорошем согласии с результатом, который получен из ЭО в галлии в больших магнитных полях ³, где $v \approx 5 \cdot 10^7$ см/с. Периодичность ОЭО описывается выражением $\Gamma_{\text{осц}} \sim \sin^2 \left[qR \left(1 - \frac{\sin \varphi_k}{\sin \varphi} \right)^{1/2} - \frac{\pi}{4} \right]$, откуда получаем для размера осциллирующего нецентрального сечения $p_b/\hbar \approx 1,4 \cdot 10^7$ см⁻¹. Этот размер удовлетворяет исследованиям ПФ галлия ⁶. При этом смещение сечения в направлении *a* равно $p_a/\hbar \approx 1 \cdot 10^7$ см⁻¹ (p_a, p_b — квазимпульсы электронов на ПФ по направлениям *a* и *b*). В области больших углов отклонения можно было наблюдать осцилляции пиппардовского резонанса, которые начинаются при $\varphi \geq 9^\circ$, что согласуется с расчетами по выражениям, приведенным в ⁵, с привлечением конкретных размеров ПФ галлия. Это еще раз подчеркивает то обстоятельство, что лишь осцилляции ОЭО проявляются в малых углах на рис. 1.

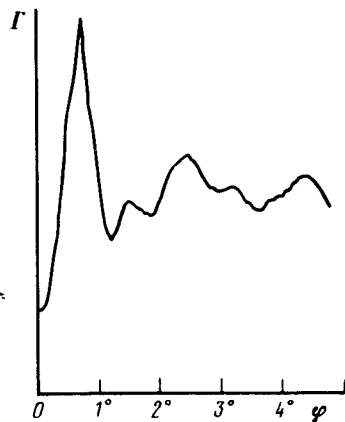


Рис. 1

Рис. 1. Зависимость поглощения звука от угла отклонения в галлии: $\omega/2\pi = 150$ МГц, $q \parallel c$, $H \parallel a$ при $\varphi = 0$

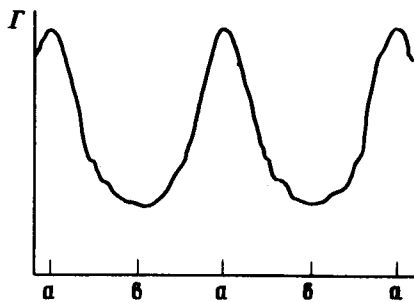


Рис. 2

Рис. 2. Зависимость поглощения звука от направления магнитного поля *H* в плоскости осей *a* и *b* галлия: $\omega/2\pi = 50$ МГц, $q \parallel c$

Рис. 3. Зависимость поглощения звука от угла отклонения в галлии: $\omega/2\pi = 30$ МГц, $q \parallel c$, $H \parallel a$ при $\varphi = 0$

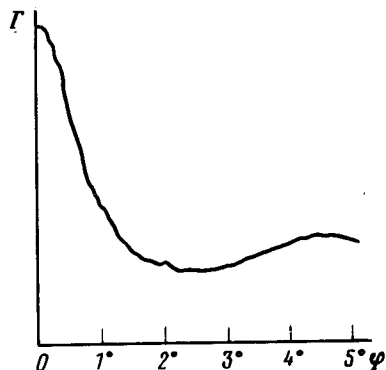


Рис.3

4. В области частот звука 30 — 50 МГц при вращении *H* в плоскости осей *a* и *b*, т. е. при $\varphi = 0$, наблюдается ориентационная зависимость Γ , приведенная на рис. 2. Особенностью, которую считаем нужным отметить, является "обратный" эффект отклонения. Он наблюдается при ориентации $H \parallel a$, т. е. когда Γ достигает максимума. Зависимость $\Gamma(\varphi)$ для данной ориентации приведена на рис. 3. Видно, что в этом случае поглощение изменяется обратным по сравнению с рис. 1 образом. Это может быть связано с включением различных механизмов поглощения звука, допустим, циклотронного резонанса при $H \parallel a$ и его исчезновением при изменении ориентации *H*. Этот эффект может маскировать поглощение, связанное с ОЭО или ЭО, и проявляться в виде зависимости на рис. 3. "Обратный" ЭО требует отдельного исследования, и замечание о его механизме носит лишь предположительный характер.

В заключение автор считает своей приятной обязанностью поблагодарить Б.Г.Лазарева за многочисленные полезные обсуждения и замечания и В.П.Фурсу за помощь в измерениях.

Литература

1. Еременко А.В., Канер Э.А., Фалько В.Л. ЖЭТФ, 1984, 87, 1757.
2. Reneker D.H. Phys. Rev., 1959, 115, 303.
3. Безуглый П.А., Бурма Н.Г. Письма в ЖЭТФ, 1969, 10, 523.
4. Golik A.V., Zarudnyi E.A., Korolyuk A.P., Falko V.L., Khizhnyi V.I. Solid. State Comm., 1983, 48, 373.
5. Фалько В.Л., Канер Э.А., Еременко А.В. ФНТ, 1985, 11, 865.
6. Alquie C., Lewiner J. Phys. Rev. B, 1972, 6, 4490.

Харьковский

физико-технический институт

Академии наук Украинской ССР

Поступила в редакцию

4 февраля 1986 г.