

КВАНТОВЫЕ ОСЦИЛЛЯЦИИ ПОВЕРХНОСТНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ
ЦИНКА НА ЧАСТОТЕ 1 МГЦ

Ю.П.Гайдуков, И.П.Кречетова

В настоящее время известно, что низкочастотные осцилляции сопротивления в цинке, соответствующие игольчатой поверхности Ферми, не являются обычным эффектом Шубникова - де-Гааза. Гигантская амплитуда этих осцилляций объясняется магнитным пробоем поверхности Ферми цинка [1,2].

Для того чтобы более детально изучить эти необычные осцилляционные явления, мы провели исследования поверхностного сопротивления $R(H)$ монокристаллов цинка на частоте 1 Мгц. Для этой цели был применен ядерный датчик магнитного поля типа ИМИ-2. В катушку генератора помещался образец. На выходе детектора стоял низкочастотный узкополосный усилитель с фазовым детектором. Регистрация сигнала поглощения производилась двухкоординатным самописцем. Подобный метод исследования квантовых осцилляций впервые был применен в [3].

Измерения проводились в полях до 22 кэ при $T = 1,4^{\circ}\text{K}$. Частота модуляции внешнего магнитного поля - 20 гц. Использовались те же образцы цинка, что и в [2]. Для этих образцов $\rho_{300^{\circ}\text{K}}/\rho_{4,2^{\circ}\text{K}} \approx 18000$. Форма образцов - цилиндры с диаметром ~ 2 мм и длиной ~ 30 мм или пластинки размером $1 \times 2 \times 20$ мм. Для одного и того же кристаллографи-

ческого направления применялась различная поляризация высокочастотного тока относительно направления постоянного магнитного поля \vec{H} . Последнее могло быть как параллельно, так и перпендикулярно поверхности скин-слоя. Геометрия образцов позволяла одновременно с высокочастотными измерениями проводить измерения на постоянном токе.

При измерениях наблюдались осцилляции $\partial R(H)/\partial H$, связанные с различными частями поверхности Ферми цинка (с периодом до $1 \cdot 10^{-7}$ э⁻¹). Но основное внимание уделено осцилляциям, вызванным игольчатой поверхностью Ферми. Здесь получены следующие результаты.

Наблюдаются два типа осцилляции с одним и тем же периодом. Эти осцилляции четко отличаются по форме и сдвинуты друг относительно друга на полпериода. Осцилляции первого типа имеют следующие особенности (рис. 1,а):

1. Они существуют для любых направлений магнитного поля относительно осей кристалла.

2. Осцилляции обнаруживаются с малых полей (~ 200 э). Их амплитуда резко возрастает и достигает максимального значения при H_1 , а затем уменьшается. В полях $H_2 \approx 2H_1$ осцилляции не обнаруживаются. С увеличением угла θ между осью $[0001]$ и магнитным полем значения H_1 и H_2 возрастают. $H_1 \approx 2$ кэ при $\theta \approx 0^\circ$.

3. Амплитуда осцилляций слабо зависит от направления высокочастотного тока и существенно зависит от направления \vec{H} относительно скин-слоя. Наилучшие условия для наблюдения осцилляций - высокочастотный ток перпендикулярен \vec{H} , а \vec{H} - параллельно скин-слою.

4. Сравнение с результатами, полученными на постоянном токе, показывает, что в статическом сопротивлении $\rho(H)$ этот тип осцилляций отсутствует.

Осцилляции второго типа имеют следующие особенности (рис. 1,б):

1. Они существуют лишь для направления $H \parallel [0001]$ и для направлений магнитного поля, приводящих к появлению открытых траекторий электронов в плоскости (0001) . В основном эти направления поля параллельны плоскостям $\{10\bar{1}0\} [2]$

2. Осцилляции обнаруживаются начиная примерно с 2 кэ. Их амплитуда плавно возрастает с возрастанием магнитного поля.

3. Амплитуда осцилляций существенно зависит от поляризации высокочастотного тока в образце относительно осей кристалла и магнитного поля. Так, например, осцилляции не обнаруживаются в том случае, когда высокочастотный ток направлен \vec{H} , а также в том случае, когда он параллелен открытым траекториям в плоскости (0001).

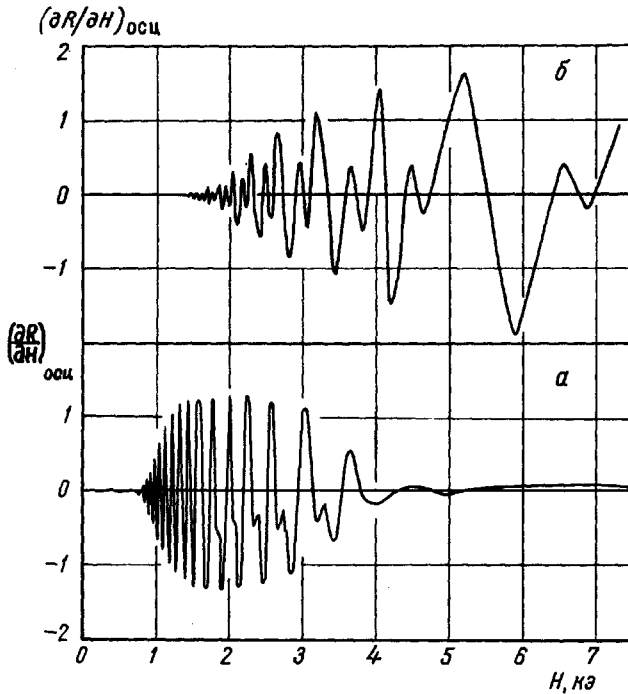


Рис. 1. Зависимость осциллирующей добавки к производной от поверхностного сопротивления цинка от магнитного поля

($T = 1,4^{\circ}\text{K}$, $f = 1$ МГц).

а-Магнитное поле перпендикулярно скин-слою и параллельно оси [0001]; б-магнитное поле параллельно скин-слою и отклонено от оси [0001] на угол $\theta \approx 10^{\circ}$

4. При сравнении кривых, полученных при измерении на частоте 1 МГц и на постоянном токе на одних и тех же образцах, оказалось, что $\left(\frac{\partial R(H)}{\partial H}\right)_{\text{осц}} \sim \frac{\partial \rho(H)}{\partial H}$, где $\rho(H)$ - статическое сопротивление в магнитном поле.

5. Наилучшие условия наблюдения осцилляций имеются в том случае, когда магнитное поле перпендикулярно поверхности скин-слоя.

Своеобразное поведение осцилляции этих двух типов позволяет при определенных условиях наблюдать их одновременно (рис. 2).

Из рис. 1 видно, что осцилляционные максимумы расщеплены. По-видимому, это расщепление является спиновым с g -фактором, равным 89 [4]. Характер спинового расщепления не меняется при отклонении от оси шестого порядка, при этом g -фактор уменьшается в точном соответствии с уменьшением периода осцилляций.

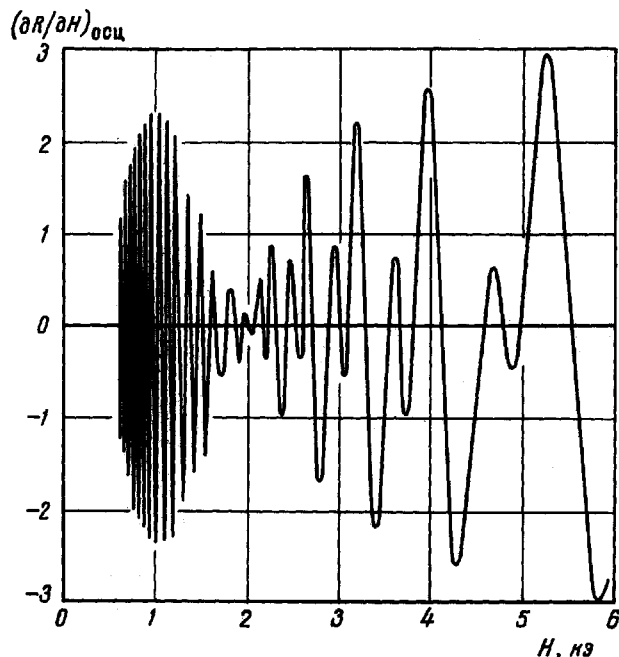


Рис. 2. Зависимость осциллирующей добавки к производной от поверхностного сопротивления цинка от магнитного поля ($T = 1,4^{\circ}\text{К}$, $f = 1 \text{ МГц}$). Магнитное поле параллельно скин-слою и оси $[0001]$. Высокочастотный ток перпендикулярен магнитному полю

Сравнивая рис. 1,а и 1,б, можно видеть, что форма одних осцилляций может быть получена зеркальным отображением относительно оси абсцисс осцилляций другого типа.

Мы объясняем полученные результаты тем, что в магнитном поле возможны два механизма образования поверхностного сопротивления: в малых полях, когда $2r_{\text{экстр}} \gg \delta_{\text{ск}}$ (где $2r_{\text{экстр}}$ - диаметр экстремальной орбиты электрона в магнитном поле, а $\delta_{\text{ск}}$ - толщина скин-слоя), имеют место квантовые осцилляции поверхностного

сопротивления, рассмотренные в [5]. При этом существенно, чтобы орбита электрона лишь частично находилась в скин-слое. Этому случаю соответствуют наблюденные нами осцилляции первого типа.

Когда орбита электрона полностью расположена в скин-слое, механизм образования поверхностного сопротивления существенно отличается от первого. Квантовые осцилляции, наблюдаемые при этом, по-видимому, аналогичны эффекту, наблюдаемому на постоянном токе. Этот тип осцилляций возникает в больших полях, когда $2\tau_{\text{экстр}} \ll \delta_{\text{ск}}$ либо когда магнитное поле нормально к скин-слою.

Для первого механизма поглощение должно быть пропорционально числу эффективных электронов, для второго — обратно пропорционально. Это объясняет наблюдаемую разность фаз и форму в двух типах осцилляций. Максимум амплитуды осцилляций второго типа, по-видимому, наступает когда половина орбиты электрона лежит в скин-слое. Соответственно осцилляции должны исчезнуть в момент, когда орбита полностью помещается в скин-слое.

Мы весьма признательны М.И.Шпирову за техническую помощь и профессору А.И.Шальникову за внимание к работе.

Физический факультет

Московского государственного
университета им. М.В.Ломоносова

Поступило в редакцию
27 января 1966 г.

Литература

- [1] R.W.Stark. Phys. Rev.Lett., 2, 482, 1962.
- [2] Ю.П.Гайдуков, И.П.Кречетова. ЖЭТФ, 49, 1411, 1965.
- [3] Е.П.Вольский. ЖЭТФ, 46, 123, 1964.
- [4] A.I.Bennett, L.M.Falicov. Phys.Rev., 136A, 998, 1964.
- [5] М.Я.Азбель. ЖЭТФ, 37, 1158, 1958.