

## КВАНТОВЫЕ ОСЦИЛЛЯЦИИ ТЕРМОЭДС ОСМИЯ В СИЛЬНЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЯХ

*Н.В.Волкенштейн, В.Е.Старцев, А.Н.Черепанов*

При температуре 4,2 К и в магнитных полях до 90 кЭ измерены анизотропия и полевые зависимости термоэдс наиболее чистых монокристаллов осмия с  $\rho_{273\text{ К}} / \rho_{4,2\text{ К}} \approx 2000$ . Выше 40 кЭ обнаружены аналогичные эффекту Шубникова — де Гааза квантовые осцилляции термоэдс, которые в переходных металлах ранее не наблюдались.

Осмий — переходный  $5d$  — металл с атомным номером  $Z = 76$  и гексагональный плотноупакованной решеткой. Он является электронным аналогом рутения и согласно расчету электронного энергетического спектра [1] допускает возможность магнитного пробоя (МП), аналогичного МП в рутении. Однако сильные релятивистские эффекты в осмии, которые трудно рассчитать теоретически с достаточной степенью точности, могут существенно повлиять на его электронный спектр и изменить топологию поверхности Ферми в окрестности точки  $L$  зоны Бриллюэна по сравнению с рутением (в рутении МП обусловлен малой энергетической щелью спин-орбитального происхождения между многосвязной дырочной поверхностью  $KM 8h$  и линзой  $L 7h$ , центрированной в точке  $L$ ). В связи с этим вопрос о возможности МП в осмии нетривиален и представляет интерес.

Поэтому мы предприняли попытку поиска квантовых осцилляций гальваномагнитных и термоэлектрических свойств осмия, и в первую очередь, осцилляций термоэдс. В экспериментах использовались образцы, вырезанные вдоль главных кристаллографических направлений из монокристаллов с  $\rho_{273\text{ К}} / \rho_{4,2\text{ К}} \approx 2000$ . Размеры образцов  $1 \times 1 \times 15 \text{ мм}^3$ . Измерения проводились в полях до 90 кЭ и при температуре 4,2 К.

На рис.1 и рис.2 приведены результаты измерений магнитотермоэдс  $\alpha$  для геометрии эксперимента, при которой градиент температуры  $\nabla T \parallel \langle 1210 \rangle$ , а магнитное поле  $\mathbf{H}$  вращается в плоскости, перпендикулярной этой оси. Выбор такой геометрии обусловлен следующими причинами. Во-первых, при таких ориентациях  $\nabla T$  и  $\mathbf{H}$  можно судить о связности поверхности Ферми в гексагональном направлении в окрестности точки  $L$ . Во-вторых, при данной геометрии в случае существования МП перестройки траекторий возможно наблюдение квантовых осцилляций термоэдс большой амплитуды.

На рис.1 показана анизотропия термоэдс  $\alpha$  и магнитосопротивления  $\Delta\rho/\rho$  образца осмия с  $\nabla T \parallel \langle 1210 \rangle$ . Видно, что при  $\mathbf{H} \parallel \langle 0001 \rangle$  имеются широкие минимумы, причиной которых, согласно модели поверхности Ферми [1, 2], является геометрическая раскомпенсация, обусловленная появлением на многосвязном дырочном листе  $KM 8h$  слоя траекторий электронного характера. При  $\mathbf{H} \parallel \langle 10\bar{1}0 \rangle$  наблюдается макси-

мум  $|a|$ , а полевая зависимость  $a(H)$  в сильных магнитных полях близка к линейной, что в соответствии с [3] указывает на существование при данном направлении  $\mathbf{H}$  замкнутых траекторий. Измерения магнитосопротивления на этом образце также показали, что при  $\mathbf{H} \parallel \langle 10\bar{1}0 \rangle$  имеет место максимум в анизотропии  $\Delta\rho/\rho$  и соответствующая ему квадратичная зависимость  $\Delta\rho/\rho(H)$ . Эти факты свидетельствуют об отсутствии вдоль оси  $\langle 0001 \rangle$  открытых траекторий, на возможность которых указывалось в [4].

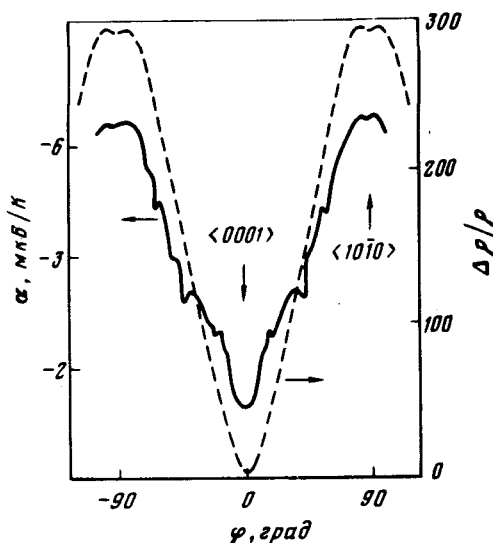


Рис.1. Анизотропия термоэдса  $\alpha(\phi)$  (сплошная линия) и магнитосопротивления  $\Delta\rho/\rho(\phi)$  (пунктирная линия) монокристалла осмия при  $\nabla T$  и  $\mathbf{j}$  вдоль оси  $\langle 1\bar{2}10 \rangle$ ,  $T = 4,2\text{ К}$ ,  $H = 86\text{ кЭ}$

Что касается полевых зависимостей  $a(H)$ , то в широкой области направлений магнитного поля при  $H \gtrsim 40\text{ кЭ}$  наблюдается осциллирующий вклад (рис.2). В диапазоне углов вплоть до  $70^\circ$  от оси  $\langle 10\bar{1}0 \rangle$  этот вклад содержит несколько частот. Фурье-анализ, выполненный на ЭВМ показал, что наблюдаемые осцилляции содержат основные частоты (например, при  $\mathbf{H} \parallel \langle 10\bar{1}0 \rangle$   $f_1 = (1,44 \pm 0,03) \cdot 10^6\text{ кЭ}$  и  $f_2 = (2;12 \pm 0,04) \cdot 10^6\text{ кЭ}$ ), которые с точностью до 3% совпадают с де Гааз – ван Альфеновскими частотами [2] от дырочных эллипсоидов LM7h, расположенных между точками L и M зоны Бриллюэна (см. вставку на рис.2). Наличие этих двух частот соответствует симметрии расположения эллипсоидов.

Вообще говоря, отсутствие открытых траекторий, предсказанных в [1] (см. рис.2, пунктир) вдоль направления  $\langle 0001 \rangle$ , можно было бы объяснить их МП перестройкой в замкнутые через линзу L7h. Однако совокупность экспериментальных фактов ставит под сомнение существование магнитного пробоя в осмии. Для этого имеются следующие основания: а) наблюдаемые частоты осцилляций происходят не от линз L7h (как это имеет место в рутении), а соответствуют экстремальным сечениям дырочных эллипсоидов LM7h, которые согласно [1] сильно удалены от многосвязной дырочной поверхности KM8h; б) в противоположность рутению отсутствует резко выраженная анизотропия амплитуд

осцилляций, а их величина на порядок меньше; в) в полевых зависимостях термоэдс и магнитосопротивления не наблюдается характерных для магнитного пробоя аномалий, которые бы указывали на МП перестройку электронных траекторий.

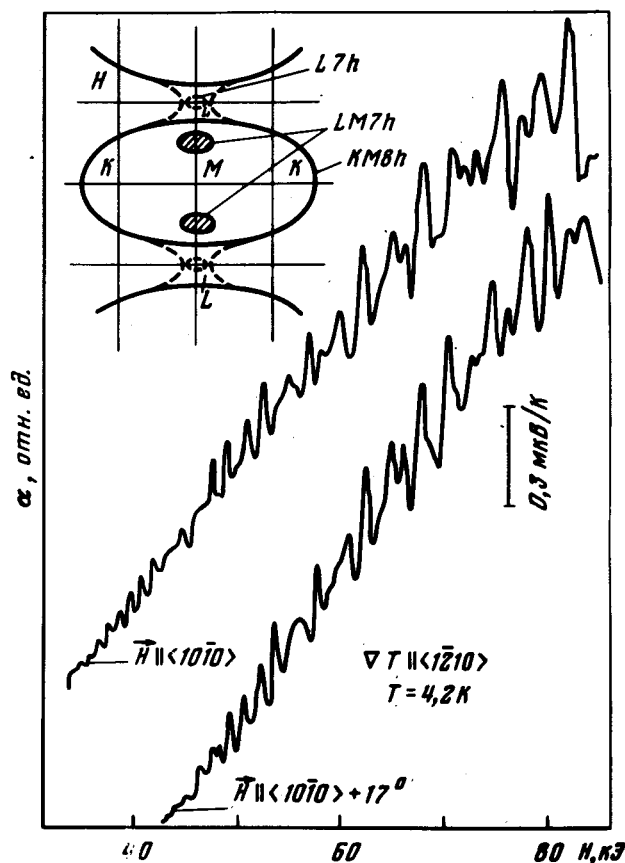


Рис.2. Типичные осцилляции термоэдс осмия. На вставке — сечения листов поверхности Ферми осмия плоскостью LMK в окрестности точки L: пунктир — [1], сплошная линия — [2]

Итак, эти экспериментальные факты свидетельствуют, что наблюдаемые осцилляции термоэдс осмия, по-видимому, обусловлены эффектом типа Шубникова — де Гааза, а не МП. Это, вероятно, связано с тем, что сильные релятивистские эффекты в осмии приводят к существенному изменению топологии его поверхности Ферми в области точки L зоны Бриллюэна по сравнению с расчетом [1].

В заключение отметим, что в исследованных к настоящему времени металлах осцилляции термоэдс были обусловлены МП. Насколько нам известно, осмий — это первый переходный металл, в котором обнаружены квантовые осцилляции термоэдс, аналогичные эффекту Шубникова — де Гааза в магнитосопротивлении.

## Литература

- [1] O.Jepsen, O.K.Andersen, A.R.Mackintosh. Phys. Rev., B., 12, 3084, 1975.
- [2] G.N.Kamm, J.R.Anderson. Phys. Rev., B., 2, 2944, 1970.
- [3] Ю.Б.Бычков, Л. Э.Гуревич, Г.М.Недлин. ЖЭТФ, 37, 534, 1959.
- [4] Н.Е.Алексеевский, А.В.Дубровин, Г.Э.Карстенс, Н.Н.Михайлов. ЖЭТФ, 54, 350, 1968.
-