

## КВАНТОВЫЕ ОСЦИЛЛЯЦИИ ТЕРМОЭДС И ЭФФЕКТА НЕРНСТА НА МАГНИТОПРОБОЙНЫХ ТРАЕКТОРИЯХ В РУТЕНИИ

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

При температуре 4,2К и в магнитных полях до 90 кэ в условиях магнитного пробоя измерены термоэдс и эффект Нернста наиболее чистых в настоящее время монокристаллов рутения с  $\rho_{273\text{ К}}/\rho_{4,2\text{ К}}$  до 3000. Обнаружены гигантские осцилляции термоэдс и эффекта Нернста, связанные с образованием узкого слоя открытых магнитопробойных орбит.

В недавно опубликованной работе [1] теоретически показано, что в кинетических свойствах металлов в условиях магнитного пробоя возможно возникновение нелинейных по электрическому полю эффектов, связанных с "разогревом" электронов. Одно из главных требований наблюдения таких эффектов состоит в том, чтобы магнитный пробой приводил к образованию узкого слоя открытых траекторий. Поскольку результаты [1] являются принципиальными для понимания поведения электронов проводимости в условиях магнитного пробоя, представляет интерес поиск объектов для экспериментальной проверки результатов теоретических расчетов.

В связи с этим мы предприняли измерения термоэдс и эффекта Нернста в переходном металле рутении, в котором согласно гальваномагнитным измерениям имеет место магнитный пробой между многосвязной дырочной поверхностью и "линзой", разделенными малой энергетической щелью спин-орбитального происхождения [2, 3]. Измерение именно термоэлектрических эффектов оказывается наиболее удобным методом для поиска узких слоев магнитопробойных траекторий, так как согласно [4 – 6] в условиях магнитного пробоя возможно аномально большое (на несколько порядков) увеличение и возникновение гигантских осцилляций термоэдс. Можно предположить, что аналогичное действие магнитного пробоя проявится и на эффекте Нернста – тепловом аналоге эффекта Холла.

Измерения выполнены при  $T = 4,2\text{ К}$  и в магнитных полях до  $90\text{ кэ}$  на образцах, вырезанных электроискровым способом с последующей электрополировкой из монокристаллов с отношением  $\rho_{273\text{ К}}/\rho_{4,2\text{ К}}$  до  $3000$ . Образцы в виде брусков квадратного сечения размерами  $14 \times 0,5 \times 0,5\text{ мм}^3$  были ориентированы длинной осью вдоль главных кристаллографических направлений ( $\langle 0001 \rangle$ ,  $\langle 10\bar{1}0 \rangle$ ,  $\langle 12\bar{1}0 \rangle$ ). Градиент температуры  $\nabla T$  создавался с помощью нагревателя из нихромовой проволоки, расположенного на одном из концов образца, и контролировался в отсутствие магнитного поля дифференциальной медь-константановой термопарой. Его величина ( $\approx 0,9\text{ К/см}$ ) выбиралась из условия максимума амплитуды осцилляций. Измерения эффекта Нернста проводились при двух противоположных направлениях магнитного поля, что позволяло исключить вклад термоэдс, неизбежно возникающий из-за неточности расположения "нернстовских" потенциальных контактов. Величина этого вклада была на два порядка меньше, чем ЭДС Нернста. Зависимости термоэдс и ЭДС Нернста от направления и величины магнитного поля записывались автоматически на двухкоординатном потенциометре с чувствительностью до  $10^{-8}\text{ В}$ .

Ниже мы приводим результаты измерений для геометрии эксперимента, когда  $\nabla T \parallel \langle 0001 \rangle$  и  $H \parallel \langle 2\bar{1}\bar{1}0 \rangle$ . Дело в том, что согласно [2,3] именно при таком направлении магнитного поля в результате магнитного пробоя "шейка" — "линза" в рутении образуется слой открытых траекторий, расположенных в плоскости  $LMML$  зоны Бриллюэна и направленных перпендикулярно оси  $\langle 0001 \rangle$  (вид этих траекторий приведен в [2] и [3]).

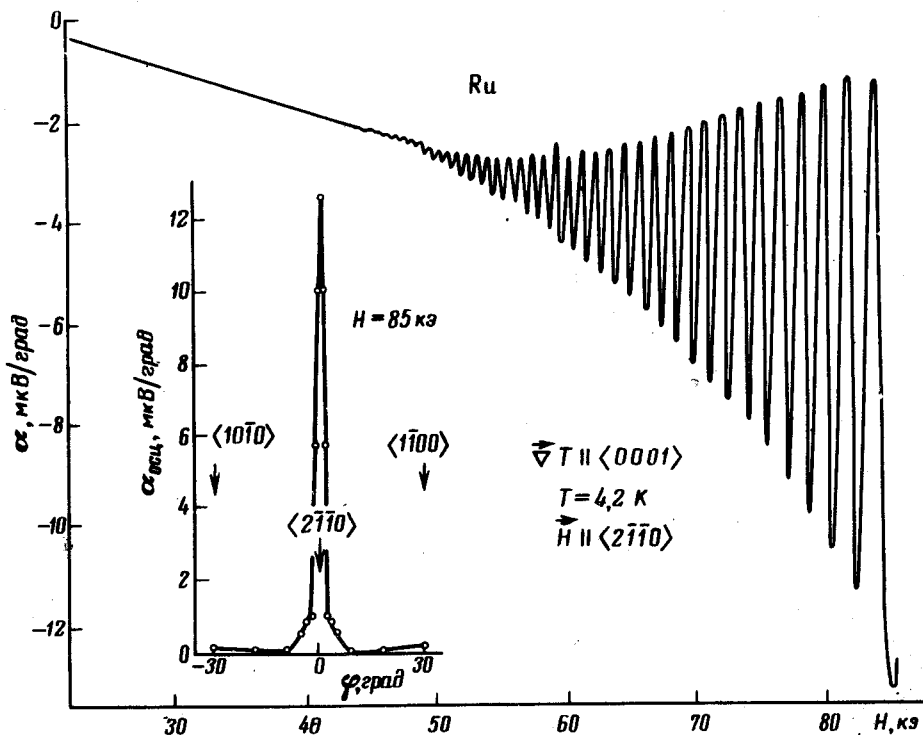


Рис. 1. Зависимость термоэдс от величины магнитного поля при  $H \parallel \langle 2\bar{1}\bar{1}0 \rangle$ . На вставке — анизотропия амплитуды осцилляций

На рис. 1 показана зависимость термоэдс  $\alpha(H)$  от величины магнитного поля при  $H \parallel \langle 2\bar{1}10 \rangle$ . Видно, что в сильных магнитных полях в этой зависимости основным является вклад, обусловленный магнитным пробоем. Частота обнаруженных осцилляций термоэдс равна  $(4,05 \pm 0,05) \cdot 10^6$  э и хорошо согласуется с частотой осцилляций магнетосопротивления  $(4,1 \cdot 10^6$  э) и де Гааз – ван Альфеновской частотой  $(4,0 \cdot 10^6$  э), соответствующей площади экстремального сечения "линзы" плоскостью  $LMM L$  [7]. Соответствие частот осцилляций показывает, что магнитопробойный слой траекторий проходит через "линзу" и лежит именно в плоскости  $LMM L$ . Отметим также хорошее согласие величин частот термоэдс при  $H \parallel \langle 2\bar{1}10 \rangle$  с результатом недавно опубликованной работы [8] –  $(4,01 \pm 0,05) \cdot 10^6$  э.

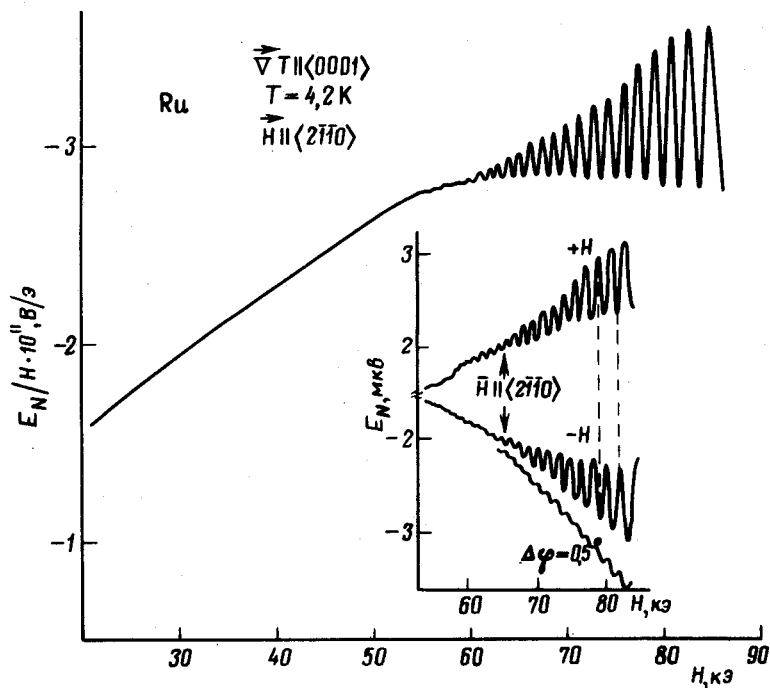


Рис. 2. Зависимость ЭДС Нернста от величины магнитного поля при  $H \parallel \langle 2\bar{1}10 \rangle$ . На вставке показана запись сигнала эффекта Нернста при разных направлениях магнитного поля

Амплитуда магнитопробойных осцилляций термоэдс  $\alpha_{\text{осц}}$  весьма велика и превосходит почти на два порядка как величину "классической" термоэдс рутения (при  $H = 0$ ), так и амплитуду магнитопробойных осцилляций сопротивления, что соответствует теоретическим прогнозам [4]. При ликвидации слоя открытых магнитопробойных траекторий путем отклонения  $H$  от оси  $\langle 2\bar{1}10 \rangle$  амплитуда осцилляций резко падает (см. вставку на рис. 1). Видно, что отклонение вектора  $H$  от оси  $\langle 2\bar{1}10 \rangle$  всего на  $2^\circ$  приводит к уменьшению амплитуды осцилляций на порядок, а при отклонении на  $10^\circ$  амплитуда падает в 250 раз.

При измерениях эффекта Нернста была обнаружена аналогичная осцилляционная картина, которая показана на рис. 2. Осцилляции ЭДС Нернста при взаимно противоположных направлениях магнитного поля в отличие от термоэдс идут в противофазе. Частота осцилляций при  $H \parallel \langle 2\bar{1}\bar{1}0 \rangle$  совпадает с частотой осцилляций термоэдс и магнетосопротивления при этом же направлении  $H$  и равна  $(4,05 \pm 0,05) \cdot 10^6$  э. Как видно из рис. 2 незначительное отклонение магнитного поля от оси  $\langle 2\bar{1}\bar{1}0 \rangle$  приводит к резкому уменьшению амплитуды осцилляций, аналогично тому, как это имеет место для термоэдс и магнетосопротивления [3].

Итак, приведенные экспериментальные факты свидетельствуют о том, что слой открытых магнитопробойных траекторий в рутении весьма узок. По нашим оценкам, его относительная ширина  $\delta p_z/p_z \sim 10^{-2}$  ( $p_F$  — характерный фермиевский импульс электронов в рутении). Это обстоятельство, а также большая амплитуда магнитопробойных осцилляционных эффектов, делают рутений перспективным для поиска нелинейных эффектов, предсказанных в [1].

В заключение отметим, что насколько нам известно, осцилляции эффекта Нернста в условиях магнитного пробоя обнаружены впервые.

Авторы благодарны Н.Е.Алексеевскому, Ю.П.Гайдукову, А.А.Слущкину за интерес к работе и полезные дискуссии.

Институт физики металлов  
Академии наук СССР  
УНЦ

Поступила в редакцию  
18 июля 1978 г.

### Литература

- [1] А.А.Слущкин, А.М.Кадигроров. ФНТ, 4, 536, 1978.
- [2] В.Е.Старцев, В.П.Дякина, Н.В.Волкенштейн. Письма в ЖЭТФ, 23, 43, 1976.
- [3] V.E.Startsev, N.N.Volkenshtein. Inst. Phys. Conf. Ser. №39, 1978.
- [4] А.А.Слущкин. 19 Всесоюзное совещание по физике низких температур. Минск, 1976, тезисы, стр. 137.
- [5] В.С.Егоров. ЖЭТФ, 72, 2210, 1977.
- [6] В.И.Гостищев, М.А.Глинский, А.А.Дрозд, С.Е.Демьянов. ЖЭТФ, 74, 1102, 1978.
- [7] P.T.Coleridge. J. Low. Temp. Phys., 1, 577, 1969.
- [8] N.E.Alekseevskii, M.Glinski, V.I.Nizhankovskii. J. Low. Temp. Phys., 30, 599, 1978.