

МИКРОКОНТАКТНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ КОНДО-РЕШЕТКИ CeCu_2Si_2

Ю.Г.Найдюк, Н.Н.Грибов, А.А.Лысых, И.К.Янсон
Н.Б.Брандт¹⁾, В.В.Мощалков¹⁾

Установлено, что в микроконтактах из CeCu_2Si_2 из-за сильного электрон-электронного взаимодействия реализуется тепловой режим протекания тока. Обнаружена асимметрия проводимости гетероконтактов $\text{CeCu}_2\text{Si}_2 - \text{Cu}$ в зависимости от направления тока, которая связывается с наличием резонанса в плотности состояний CeCu_2Si_2 вблизи уровня Ферми.

1. В последнее время большое внимание уделено исследованию кинетических явлений в соединении CeCu_2Si_2 , проявляющем ряд необычных свойств при низких температурах¹⁻⁴. Данное вещество относят к так называемым кондо-решеткам, которые, согласно⁴, представляют собой новый класс твердых тел. В CeCu_2Si_2 при температурах $T_K \sim \sim 10 \text{ K}$ (T_K – температура Кондо) имеется максимум в энергетическом спектре электронов вблизи уровня Ферми, известный как резонанс Абрикосова – Сула, который ответственен за аномальные свойства CeCu_2Si_2 . Наличие узкого резонанса приводит к появлению квазичастиц с большой эффективной массой ($m^* \gtrsim 200 m_0$) – тяжелых фермионов, и

¹⁾ Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова.

низкой температурой вырождения $T_F^* \sim 10$ К. Отметим, что при $T < T_K$ происходит экранировка магнитных моментов Се электронами проводимости и CeCu_2Si_2 переходит в немагнитное состояние. В связи с изложенным вызывает интерес исследовать свойства CeCu_2Si_2 методом микроконтактной (МК) спектроскопии, который широко применяется для изучения различных механизмов энергетической релаксации электронов в проводниках⁵.

2. На рис. 1, а показана зависимость дифференциального сопротивления $R_D(V) = dV/dI(V)$ микроконтакта из CeCu_2Si_2 , которая имеет два максимума в районе 5 и 67 мВ. При $V \rightarrow R_D(V)$ подчиняется квадратичной зависимости $R_D(V) = R(0) + aV^2$, а в области от 7 до 30 мВ убывает по логарифмическому закону (см. вставки на рис. 1, а). Таким образом $R_D(V)$ качественно подобна $\rho(T)$ массивного образца⁴. Корреляция между $R_D(V)$ и $\rho(T)$ свидетельствует о реализации в контактах CeCu_2Si_2 теплового режима протекания тока, при котором температура T внутри контакта связана с напряжением на нем⁶

$$T^2 = T_0^2 + V^2/4L, \quad (1)$$

где T_0 — температура ванны, L — число Лоренца.

Согласно теории теплового режима⁶ по измеренным кривым $R_D(V)$ можно рассчитать зависимость сопротивления микроконтакта от температуры $R_{\text{МК}}^{\text{теор}}(T)$, используя линейную связь (1) между T и V ($V = \alpha T$) при $T^2 \gg T_0^2$:

$$R_{\text{МК}}^{\text{теор}}(T) = R_{\text{МК}}^{\text{теор}}(V/\alpha) = \pi/2 \left[\int_0^V R_D^{-1}(v) (V^2 - v^2)^{-1/2} dv \right]^{-1}.$$

На рис. 2 показаны экспериментально измеренные зависимости сопротивления микроконтакта от температуры²⁾ $R_{\text{МК}}(T)$ в сравнении с $R_{\text{МК}}^{\text{теор}}(T)$. Для согласования экстремумов кривой $R_{\text{МК}}^{\text{теор}}(T)$ с экстремумами на $R_{\text{МК}}(T)$ необходимо в формуле (1) положить значение L равным $1,25 \cdot 10^{-7} \text{ В}^2/\text{К}^2$, т. е. $L/L_0 \approx 5$, где L_0 — стандартное значение для числа Лоренца. При этом видна хорошая корреляция между рассчитанной и экспериментальной кривой, как по форме, так и по абсолютным значениям, а заметное расхождение при $T < 6$ К связано с нарушением неравенства $T^2 \gg T_0^2$. Отметим, что определенное нами значение $L/L_0 \approx 5$ в области 10 — 100 К удовлетворительно согласуется с данными³, учитывая сильную зависимость свойств CeCu_2Si_2 от направления в монокристалле, от совершенства структуры и стехиометрии. Для более точного сравнения с экспериментом в теории теплового режима нужно учесть температурную зависимость $L(T)$, а также принять во внимание, что в CeCu_2Si_2 из-за сильного электрон-электронного взаимодействия эффективная температура электронной подсистемы может отличаться от температуры решетки.

3. Основная отличительная особенность кривых $R_D(V)$ для гетероконтактов $\text{CeCu}_2\text{Si}_2 - \text{Cu}$ заключается в их асимметрии относительно оси $V = 0$ (рис. 1, б). Асимметрия зависимостей $R_D(V)$ наблюдалась ранее для гетероконтактов между Mo или Pt и соединением с промежуточной валентностью^{8, 9}, а также Найдюком Ю.Г., Грибовым Н.Н., Шкляревским О.И., Янсоном А.Г.М.,³⁾ Янсоном И.К. в гетероконтактах нормального металла с ферромагнитным металлом и с разбавленными магнитными сплавами — Cu — Fe, Cu — Mn (результаты будут опубликованы). В этих работах было выдвинуто предложение, что наблюдаемая асимметрия может быть следствием проявления эффекта Зеебека и (или) Пельтье в тепловом режиме. О влиянии данных эффектов на асимметрию $R_D(V)$ наглядно свидетельствует корреляция нечетной части дифференциального сопротивления $R_D^{\text{нч}}(V) = 1/2 [R_D^+(V) - R_D^-(V)]$ гетероконтактов из меди и CeCu_2Si_2 , а также двух сплавов на его основе, с зависимостью абсолютной термоэдс этих веществ (см. рис. 3, а и вставку), что отмечено и авторами⁹ для других соединений.

2) Зная зависимость $R_{\text{МК}}(T)$ можно оценить, согласно⁷, размер контакта d и упругую длину пробега электронов l_p , которые оказались равными $d \sim 2000 \text{ \AA}$ и $l_p \sim 5 \text{ \AA}$ для контакта на рис. 1, а. Таким образом $d \gg l_p$ одно из необходимых условий теплового режима⁶.

3) Университет г. Неймегена, Нидерланды.

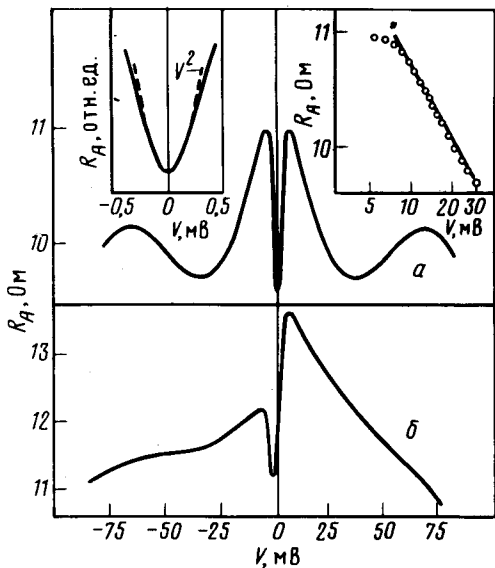


Рис. 1

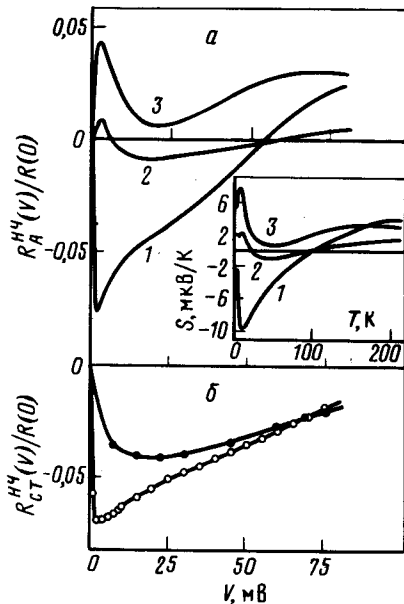


Рис. 3

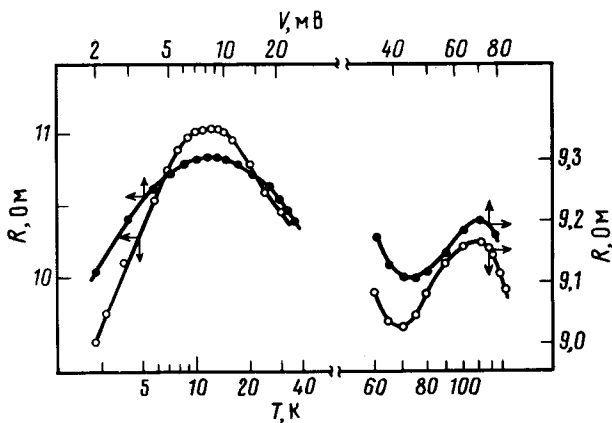


Рис. 2

Рис. 2. Сравнение экспериментальной зависимости сопротивления микроконтакта из CeCu_2Si_2 от температуры (о) с теоретически рассчитанной кривой (●). Шкала V приведена в соответствии с формулой (1), где $L = 1,25 \cdot 10^{-7} \text{ В}^2/\text{К}^2$ и $T_0 = 0$

Рис. 1. Зависимость дифференциального сопротивления $R_D(V)$ микроконтакта из CeCu_2Si_2 , $T_0 = 2,4 \text{ К}$ (а) и гетероконтакта $\text{CeCu}_2\text{Si}_2 - \text{Cu}$, $T_0 = 4,2 \text{ К}$ (б) (при $V > 0$ ток течет от Cu к CeCu_2Si_2)

Рис. 3. а – Экспериментальные зависимости $R_D^{HЧ}(V)$ для гетероконтактов между Cu и CeCu_2Si_2 (1), $\text{Ce}_{0,7}\text{La}_{0,3}\text{Cu}_2\text{Si}_2$ (2) и $\text{Ce}_{0,3}\text{La}_{0,7}\text{Cu}_2\text{Si}_2$ (3). На вставке $S(T)$ для указанных соединений ⁴; б – сравнение теоретически рассчитанной по формуле (2) зависимости $R_{CT}^{HЧ}(V)/R(0)$ для гетероконтакта $\text{CeCu}_2\text{Si}_2 - \text{Cu}$ (●) с экспериментальными данными (о)

Проведя анализ указанных эффектов можно получить, что при учете эффекта Зеебека

$$R_{CT}^{HЧ}(V)/R(0) \approx \int_{T_0}^T [S_1(T) - S_2(T)] dT/V, \quad (2)$$

при учете эффекта Пельтье

$$R_{CT}^{HЧ}(V) \approx \partial R_{CT} / \partial T [S_1(T) - S_2(T)] T^2/V, \quad (3)$$

где $R_{CT}^{HЧ} = 1/2 (R_{CT}^+ - R_{CT}^-)$; R_{CT}^+, R_{CT}^- – статическое сопротивление микроконтакта в двух полярностях ($R_{CT} = V/I(V) = V/\int_0^V R_D^{-1}(v) dv$); S_1, S_2 – термоэдс, контактирующих материалов.

На рис. 3, б показано вычисленное согласно формуле (2) $R_{\text{ст}}^{\text{нч}}$ в сравнении с экспериментальными результатами. В расчете использовались данные для $S(T)$ из ¹, а связь между V и T предполагалась линейной $V = (0,7 \text{ мВ/К})T$, согласно с выводами из предыдущего раздела. Видно хорошее согласие экспериментальных и расчетных данных при $V \gtrsim \gtrsim 50 \text{ мВ}$, однако в области энергий $eV \sim 10 \text{ мэВ}$ или температур $T \sim 10 \text{ К}$ имеется существенное расхождение между кривыми. Привлечение эффекта Пельтье не улучшает согласия, поскольку вклад от него согласно формуле (3) при $V \approx 5 \text{ мВ}$ (где $\partial R_{\text{ст}}/\partial T$ имеет максимальное значение $\sim 0,1 \text{ Ом/К}$ при $R_{\text{ст}} \approx 10 \text{ Ом}$), в несколько раз меньше вклада от эффекта Зеебека.

Таким образом асимметрию $R_D(V)$ гетероконтактов нельзя полностью объяснить влиянием термоэлектрических эффектов, особенно в области $T \sim 10 \text{ К}$, где в плотности электронных состояний CeCu_2St_2 имеется резкий максимум. При увеличении температуры этот максимум на $g(\epsilon)$ при $\epsilon = \epsilon_F$ размывается и, как видно из рис. 3, б, уменьшается различие между $R_{\text{ст}}^{\text{нч}}$ теоретически вычисленными и экспериментальными. Отмеченные обстоятельства указывают на то, что асимметричная особенность на $g(\epsilon)$ в CeCu_2St_2 , по всей видимости, ответственна за асимметрию $R_D(V)$ в области малых энергий.

Литература

1. Franz W., et al. Z. Phys., 1978, B31, 7.
2. Steglich F. et al. Phys. Rev. Lett., 1979, 43, 1892.
3. Schneider H. et al. Sol. St. Comm., 1983, 48, 1093.
4. Aliev F.G. et al. J. Low Temp. Phys., 1984, 57, 61.
5. Jansen A.G.M., van Gelder A.P., Wyder P. J. Phys. C., 1980, 13, 6073.
6. Беркин Б.И. и др. Изв. АН СССР, сер. физ., 1980, 44, 1330.
7. Акименко А.И. и др. ФНТ, 1982, 8, 260.
8. Bussian B., Frankowski F., Wohlleben D. Phys. Rev. Lett., 1982, 49, 1026.
9. Paulus E., Voss G. In Proc: IV Intern. conf. on valence fluctuations. Cologne, FRG, 1984.