

СВЕРХПРОВОДИМОСТЬ СОЕДИНЕНИЯ CeCu_2Si_2

Ф.Г.Алиев, Н.Б.Брандт, Р.В.Луцив, В.В.Мошчалков,
С.М.Чудинов

Показано, что монокристаллы CeCu_2Si_2 при температуре $T \geq 0,05 \text{ К}$ и нормальном давлении, в отличие от поликристаллов¹, не являются сверхпроводниками, а переходят в сверхпроводящее состояние под давлением. При этом реализуется сверхпроводимость с аномально большим отношением $H_{c2}(0)/T_c(0) \approx 38 \text{ кЭ/К}$ и производной $dH_{c2}/dT(T = T_c(0)) \approx 140 \text{ кЭ/К}$.

1. Среди соединений с переменной валентностью единственным, известным к настоящему времени веществом, возможность возникновения сверхпроводимости у которого обсуждается², является CeCu_2Si_2 . В¹ на основании результатов измерения температурных зависимостей удельного сопротивления $\rho(T)$, магнитной восприимчивости $\chi(T)$ и теплоемкости $c(T)$ у поликристаллических образцов CeCu_2Si_2 был сделан вывод о существовании сверхпроводимости у этого соединения с $T_c \approx 0,5 \text{ К}$, обусловленной гибридизацией $4f$ -уровня и $s-d$ зоны проводимости.

В опубликованных недавно работах^{2,3} у поликристаллов CeCu_2Si_2 при $T \approx 0,5 \text{ К}$ также наблюдалось убывание удельного сопротивления, но не до нулевого значения, на основании чего авторы² предположили, что сверхпроводимость у CeCu_2Si_2 отсутствует, а наблюдаемые в¹ аномалии $\rho(T)$, $\chi(T)$, $c(T)$ связаны со сверхпроводимостью присутствующих в CeCu_2Si_2 включений второй фазы типа CeCu_2 , CeCu_6 ². Таким образом, вопрос о существовании сверхпроводимости у CeCu_2Si_2 остается открытым.

В связи с этим в настоящей работе, наряду с поликристаллическими образцами, впервые исследованы электрические свойства монокристаллов CeCu_2Si_2 в интервале температур $0,05 - 300 \text{ К}$, в магнитном поле до 20 кЭ при давлении p до 8 кбар .

2. У поликристаллических образцов CeCu_2Si_2 зависимости удельного сопротивления ρ от температуры (рис. 1, кривая 1) аналогичны наблюдаемым в¹⁻³. Также, как в этих рабо-

тах, сопротивление ρ при $T \approx 0,5\text{К}$ резко (в несколько раз) уменьшается не до нулевого значения. Полное подавление этого эффекта магнитным полем $H \geq 20 \text{ кЭ}^3$ указывает на то, что уменьшение сопротивления связано с присутствием сверхпроводящей фазы в образцах CeCu_2Si_2 .

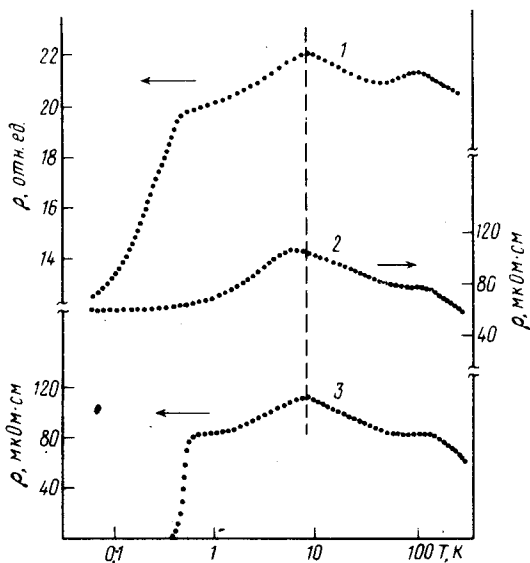


Рис.1

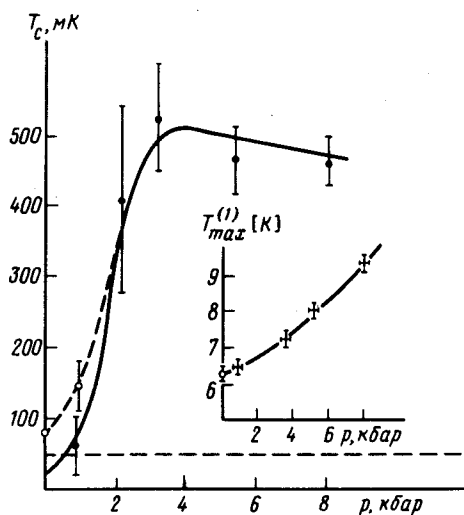


Рис.2

Рис. 1. Температурная зависимость удельного сопротивления $\rho(T)$ для поликристалла (кривая 1, $p = 0$), монокристалла (кривые 2, 3 при давлениях 0 и 5,4 кбар соответственно)

Рис. 2. Барические зависимости критической температуры T_c и температуры $T_{max}^{(1)}$ (вставка). Ошибка T_c определялась по значениям температур, соответствующих $0,9\rho_0$ и $0,1\rho_0$ (ρ_0 – остаточное сопротивление). Точки "•" получены при увеличении давления, а точки "○" – при снятии давления

Для монокристаллических образцов CeCu_2Si_2 зависимость $\rho(T)$ при нормальном давлении (рис. 1, кривая 2) отличается от аналогичной кривой для поликристаллического образца отсутствием минимума при $T \approx 70\text{К}$ и сверхпроводящего перехода при $T \geq 0,05\text{К}$. Кроме этого, первый максимум $T_{max}^{(1)}$ на кривой $\rho(T)$ у монокристалла расположен на несколько градусов левее, чем у поликристалла.

3. При исследовании электропроводности монокристаллических образцов CeCu_2Si_2 под давлением было обнаружено следующее. В области давлений $p \gtrsim 0,9$ кбар наблюдается отчетливо выраженные резкие переходы в сверхпроводящее состояние (рис. 1, кривая 3). Экстраполяция зависимости $T_c(p)$ (рис. 2) к $p = 0$ указывает на то, что монокристаллы CeCu_2Si_2 при нормальном давлении, по-видимому, обладают сверхпроводимостью с $T_c \leq 0,05\text{К}$.

В диапазоне $p \gtrsim 2,5$ кбар возникает новая сверхпроводящая модификация соединения CeCu_2Si_2 с $T_c \approx 0,5\text{К}$. Температура сверхпроводящего перехода у этой модификации слабо убывает при сжатии со скоростью $\approx 10^{-5} \text{ К/бар}$. Переход от $\text{CeCu}_2\text{Si}_2 - \text{I}$ (с $T_c \leq 0,05\text{К}$, $p < p_k$) к модификации $\text{CeCu}_2\text{Si}_2 - \text{II}$ (с $T_c \approx 0,5\text{К}$, $p > p_k$) является, вероятно, фазовым переходом первого рода, на что указывает наличие гистерезиса при снятии давления (пунктирная кривая на рис. 2) и сильное (более чем в два раза) увеличение ширины сверхпроводящего перехода при $p = p_k$.

Однако, зависимость T_c от p (рис. 2) у монокристаллов CeCu_2Si_2 можно объяснить и следующим образом. В соединениях типа кондо-решетки, к которым относится CeCu_2Si_2 , переход в сверхпроводящее состояние может иметь место лишь в области температур ни-

же характерной кондовской температуры $T_{\text{кондо}}$, соответствующей полной кондовской экранировке магнитных ионов церия. Известно так же ⁶, что в концентрированных кондо-системах $T_{\text{кондо}}$ являются монотонно возрастающей функцией $f(T_{\text{max}}^{(1)})$.

С этой точки зрения отсутствие перехода у CeCu_2Si_2 при $p = 0$ означает, что величина $T_{\text{кондо}}$ еще очень мала – по крайней мере, меньше $0,05\text{K}$ – и незранированные магнитные моменты подавляют сверхпроводимость при $T \geq 0,05\text{K}$. Под давлением (см. рис. 2) $T_{\text{max}}^{(1)}$ и, следовательно, $T_{\text{кондо}}$ возрастают и увеличение T_c в интервале $0 \leq p \lesssim 3$ кбар обусловлено увеличением $T_{\text{кондо}} \approx T_c$. Как только $T_{\text{кондо}}$ превысит некоторую критическую температуру $T_{\text{кондо}} > T_c^0 \approx 0,5\text{K}$, соответствующую сверхпроводящему переходу у CeCu_2Si_2 с кондовски подавленными магнитными моментами церия, то дальнейшее увеличение давления не приводит более к изменению T_c (рис. 2).

Анализ зависимости $T_c(p)$ (рис. 2) позволяет заключить, что сверхпроводящий переход с $T_c \approx 0,5\text{K}$ у поликристаллических образцов CeCu_2Si_2 , наблюдавшийся Штелихом с соавторами ¹, связан с присутствием в поликристаллах не CeCu_2 , CeCu_6 , как предполагалось в ², а сверхпроводящей модификации $\text{CeCu}_2\text{Si}_2 - \text{II}$, возникающей за счет наличия локальных межкристаллитных напряжений $\Delta p \neq 0$, обуславливающих перколяционный характер сверхпроводящего перехода.

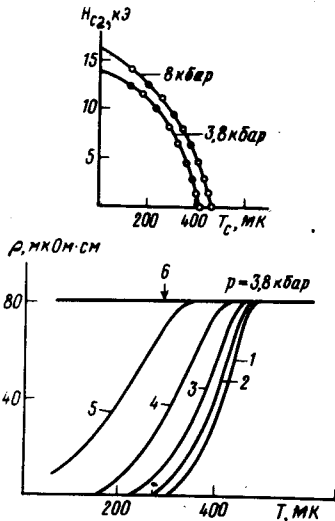


Рис. 3. Подавление сверхпроводимости у монокристаллов CeCu_2Si_2 магнитным полем: 1 – 0; 2 – 1,5 кЭ; 3 – 5 кЭ; 4 – 9 кЭ; 5 – 11,5 кЭ; 6 – 20 кЭ. На вставке приведена зависимость верхнего критического поля H_{c2} от критической температуры T_c , определенной по середине перехода

4. Кривые критических полей $H_{c2}(T_c)$, измеренные в продольном, параллельном от образца, магнитном поле, приведены на рис. 3. Интересно отметить, что в монокристаллах CeCu_2Si_2 под давлением реализуется сверхпроводящее состояние с аномально большим отношением $H_{c2}(0)/T_c(0)$: при $p = 5,4$ кбар $H_{c2}(0)/T_c(0) \approx 38$ кЭ/К, т. е. $H_{c2}(0)$ примерно в два раза превышает парамагнитный предел ⁴, равный для $\text{CeCu}_2\text{Si}_2 \approx 8,5$ кЭ.

Особенностью кривых $H_{c2}(T_c)$ является также большая производная в точке $H = 0$: $dH_{c2}/dT \approx 140$ кЭ/К ($p = 5,4$ кбар), причем аналитически зависимость H_{c2} от T_c при $T_c(0) - T_c(H) < 0, 2\text{K}$ близка к закону $H_{c2} = H_{c2}(0) \left[1 - \left(\frac{T_c(H)}{T_c(0)} \right)^6 \right]$.

В заключение авторы выражают искреннюю признательность Р.И.Ясницкому – за синтез монокристаллов CeCu_2Si_2 , С.Г.Фрейману – за помощь в измерениях при сверхнизких температурах, Д.И.Хомскому и А.И.Буздину – за обсуждение результатов.

Литература

1. Steglich F., Aarts J., Bredl C.D., Lieke W., Meschede D., Franz W., Schäfer M. Phys. Rev. Lett., 1979, 43, 1892.
2. Hull G.W., Wernick J.H., Geballe T.H., Waszczak J.V., Bernardini J.E. Phys. Rev., 1981, B24, 6715.
3. Алиев Ф.Г., Брандт Н.Б., Левин Е.М., Мошалков В.В., Чудинов С.М., Ясницкий Р.И. ФТТ, 1982, 24, 289.

4. *Clogston A.M.* Phys. Rev. Lett., 1962, 9, 266; *Chandrasekhar B.S.* Appl. Phys. Lett., 1962, 1, 7.
5. *Horn S., Holland-Moritz E., Loewenhaupt M., Steglich F., Benoit H.Sc.A., Flouquet J.* Phys. Rev., 1981, B23, 3171.
6. *Kozarzewski B.* Act. Phys. Pol., 1974, A45, 21.

Московский государственный университет
им. М.В.Ломоносова

Поступила в редакцию
14 апреля 1982 г.
