

УДК 543.637

ВЛИЯНИЕ ДАВЛЕНИЯ НА ГАЛЬВАНОМАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА CeAl_3

Ф. Г. Алиев, М. К. Заллялудинов, В. В. Моцалков, В. Ковачик

Исследовано влияние давления p до 5.6 кбар на кинетические свойства CeAl_3 в диапазоне ($0.1 < T < 50$) К. Обнаружено резкое изменение характера температурных зависимостей удельного электросопротивления и коэффициента Холла под давлением, свидетельствующее об увеличении степени вырождения основного состояния $4f$ -уровня.

Системы с тяжелыми фермионами (СТФ) характеризуются целым рядом необычных для нормальных металлов низкотемпературных свойств и прежде всего рекордными среди немагнитных материалов значениями коэффициента электронной теплоемкости γ и наличием сверхпроводимости в условиях сильного парамагнетизма Паули. При температурах, существенно выше характерной кондовской $T_K \sim 10$ К, аномальные свойства СТФ удовлетворительно описываются моделями, не принимающими во внимание взаимодействие между собой индивидуальных актов рассеяния электронов магнитными центрами редкоземельных элементов. Именно в рамках такого подхода получило объяснение [1] сильное возрастание величины коэффициента Холла R_H при понижении температуры в диапазоне ($T_K < T < 300$) К у CeAl_3 [1], CeCu_2Si_2 [2] и других СТФ. Вместе с тем недавние исследования калориметрических, термоэлектрических и гальваномагнитных свойств СТФ при сверхнизких температурах [3-6] показали, что окончательно электронный спектр СТФ формируется только при $T \ll T_K$, когда устанавливается когерентность рассеяния электронов. В этой ситуации важную информацию о природе основного состояния систем с тяжелыми фермионами можно получить, сочетая исследование свойств СТФ при сверхнизких температурах с применением гидростатического давления.

Следует отметить, что ранее под действием давления изучались сверхпроводящие либо некогерентные нормальные свойства СТФ [7]. В настоящей работе на примере CeAl_3 впервые проведено исследование влияния давления на кинетические свойства СТФ в когерентном режиме. Выбор объекта обусловлен двумя обстоятельствами. Во-первых, в CeAl_3 реализуется рекордное к настоящему времени значение $\gamma \approx 1800$ мДж/(моль \cdot К²) и, во-вторых, в CeAl_3 отсутствует сверхпроводящий переход, препятствующий измерению гальваномагнитных свойств при $T < T_c$.

Исследования при сверхнизких температурах проводились с помощью автоматизированной установки, созданной на базе рефрижератора растворения фирмы SHE. Гидростатическое сжатие создавалось при помощи камеры высокого давления. Подробное методика измерений описана в [8].

Переход к когерентному режиму в CeAl_3 проявляется в прекращении существенного (более чем на порядок) роста величины R_H с понижением температуры, прохождении R_H через максимум ($T_{\text{макс}} \approx 4$ К) и резком убывании величины R_H при $T < T_{\text{макс}}$. На рис. 1 представлены температурные зависимости $R_H(T)$ у CeAl_3 , измеренные в диапазоне ($0.15 < T < < 2.5$) К в магнитном поле $H = 30$ кЭ под действием давлений 1 бар [5], 0.2

и 5.6 кбар. Исследовался тот же образец, для которого получены данные по $R_H(T)$ при нормальном давлении.

Первое измерение R_H , проведенное при $p \approx 5.6$ кбар, показало, что зависимость $R_H(T)$ резко трансформируется под давлением: абсолютные

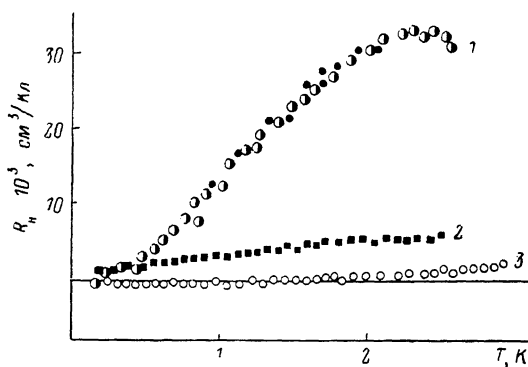


Рис. 1. Температурные зависимости $R_H(T)$ у CeAl_3 под давлением.

Тесные кружки соответствуют измерениям при $p=1$ бар после серии экспериментов под давлением p , кбар: 1 — 0.001, 2 — 0.2, 3 — 5.6.

значения R_H уменьшаются более чем на порядок, а кривая $R_H(T)$ инвертирует знак вблизи $T \approx 1.5$ К (рис. 1). Неполное снятие давления до $p \approx 0.2$ кбар позволило наблюдать промежуточный между $p \approx 5.6$ кбар

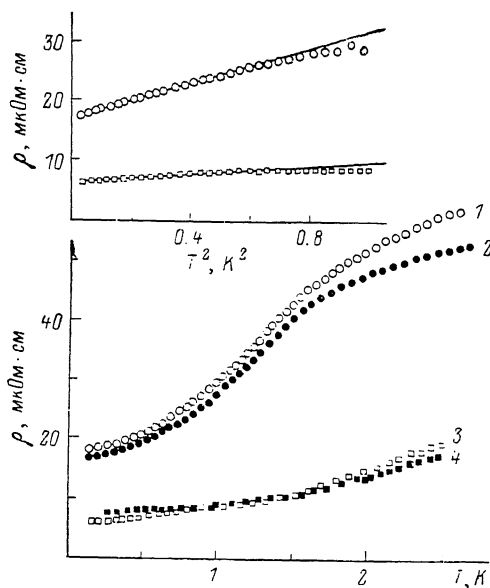


Рис. 2. Температурные зависимости $\rho(T)$ под давлением p , кбар: 1, 2 — 0.2; 3, 4 — 5.6. Темные кружки и квадраты соответствуют измерениям $\rho(T)$ в поле $H=30$ кЭ. На вставке изображены зависимости $\rho(T^2)$.

и $p=1$ бар вид зависимости $R_H(T)$. Следует особо отметить, что необычно резкое влияние давления на ход $R_H(T)$ у CeAl_3 практически полностью обратимо (см. рис. 1, на котором показана кривая $R_H(T)$ у CeAl_3 при $p=1$ бар после серии экспериментов под давлением).

Под действием давления происходит также существенное изменение температурных зависимостей удельного электросопротивления $\rho(T)$ и харак-

тера магнетосопротивления в диапазоне $T < 2.5$ К (рис. 2). Если при давлении 0.2 кбар магнетосопротивление $\rho(T, H)$, измеренное при $H=30$ кЭ, отрицательно во всем диапазоне ($0.15 < T < 2.5$) К, то при $p \approx 5.6$ кбар наблюдается необычно сильное (более чем вдвое) уменьшение остаточного сопротивления ρ_0 и смена знака магнетосопротивления вблизи 1.3 К.

По точке инверсии магнетосопротивления $T_{\text{инв}}$ можно оценить величину $T_K \approx 2\pi T_{\text{инв}}$ [9] у CeAl_3 . Однако, поскольку значение $T_{\text{инв}}$ зависит от магнитного поля, то полученные результаты лишь качественно сви-

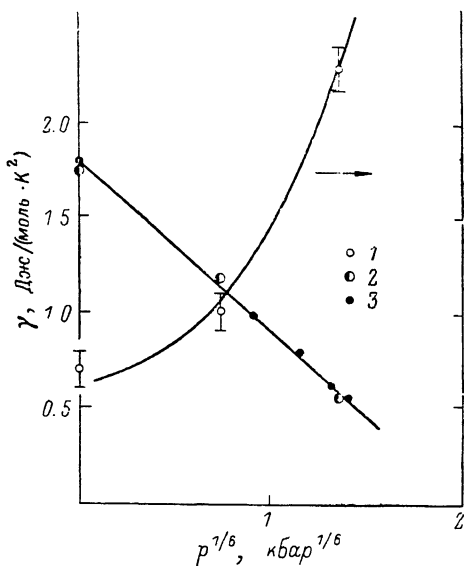


Рис. 3. Барические зависимости (в координатах $p^{1/6}$) температуры Кондо T_K (1), расчетные значения γ (2) и зависимость $\gamma(p^{1/6})$ по данным работы [10] (3).

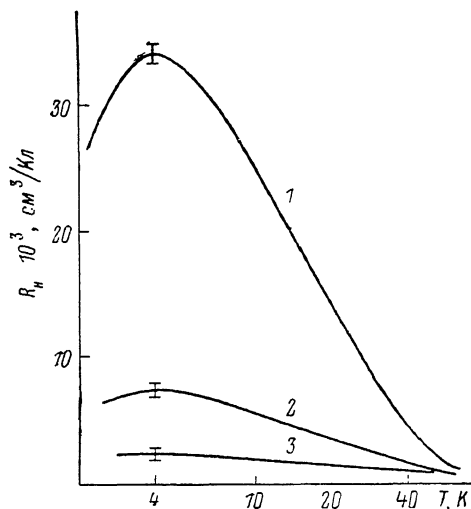


Рис. 4. Температурные зависимости $R_H(T)$ для отожженного CeAl_3 при $p=1$ бар (1), $p \approx 2$ кбар (2) и неотожженного CeAl_3 (2).

детельствуют в пользу существенного увеличения температуры Кондо в CeAl_3 под давлением. Количественную оценку роста T_K можно получить следующим образом. Ферми-жидкостное уменьшение сопротивления CeAl_3 при $T \rightarrow 0$ описывается соотношением: $\Delta\rho \sim (T/T_F^*)^2$, где температура вырождения $T_F^* \approx T_K \sim 1/\gamma$, т. е. коэффициент A в зависимости $\Delta\rho \approx AT^2$ определяется как $A \approx b\gamma^2$ (коэффициент b приблизительно равен 10^{-5} мкОм·см·моль²К⁴/мДж²). Таким образом, по изменению величины A под давлением можно построить барические зависимости $T_K(p)$ (рис. 3). Здесь следует отметить два существенных момента: во-первых, полученная косвенным образом зависимость $T_K(p)$ находится в очень хорошем согласии с данными работы [10], в которой непосредственно измерено влияние давления на калориметрические свойства CeAl_3 , и, во-вторых, оба метода дают близкие значения γ (рис. 3) и свидетельствуют в пользу выполнения эмпирической зависимости $\gamma \sim p^{1/6}$.

Исследования гальваномагнитных свойств CeAl_3 в диапазоне ($2 < T < < 100$) К под давлением $p \approx 2$ кбар (рис. 4) показали, что хотя кривые $\gamma(T)$ под давлением главным образом меняются в диапазоне сверхнизких температур [10], аномальное возрастание коэффициента Холла практически прекращается, а сами значения R_H уменьшаются.

В целом совокупность гальваномагнитных и калориметрических данных, полученных к настоящему времени, свидетельствует в пользу необычно резкого изменения плотности электронных состояний вблизи энергии Ферми ϵ_F у CeAl_3 даже при относительно малых давлениях. Этот эффект настолько резок, что роль малых давлений может имитировать даже отжиг. Действительно, температурная зависимость для неотож-

женных образцов CeAl_3 лежит существенно ниже, чем у отожженных (рис. 4).

На наш взгляд, необычные низкотемпературные свойства CeAl_3 под действием давления могут быть обусловлены малой величиной расщепления Δ_{CF} шестикратно вырожденного основного состояния $4f$ -уровня Се кристаллическим полем. Действительно, в соединении CeAl_3 не выполняется неравенство $T_K \sim (5-10) \text{ K} \ll \Delta_{CF} \sim 30 \text{ K}$ и наполовину заполненное основное состояние Се (дублет) может лавинообразно увеличить степень вырождения до четырех даже при незначительном возрастании температуры Кондо. В этой ситуации резонанс Абрикосова—Сула, расположенный при $p=0$ вблизи ϵ_F и обеспечивающий высокие значения γ , под действием давления сдвинется выше ϵ_F и будет заполнен приблизительно на четверть. Дальнейшее увеличение сжатия будет лишь незначительно изменять плотность электронных состояний вблизи ϵ_F . Именно такой характер $\gamma(p)$ наблюдается экспериментально (рис. 3).

В заключение отметим, что аналогичный, но менее выраженный эффект лавинообразного возрастания T_K под давлением, по-видимому, наблюдался у CeCu_2Si_2 [11] с тем отличием от CeAl_3 , что происходил в узком диапазоне давлений вблизи $p=30$ кбар.

Авторы выражают благодарность Н. Б. Брандту и Д. И. Хомскому за обсуждение результатов.

Л и т е р а т у р а

- [1] Брандт Н. Б., Мошchalkов В. В., Случанко Н. Е., Савицкий Е. М., Шкатова Т. М. ФТТ, 1985, т. 27, № 5, с. 1141—1145.
- [2] Алиев Ф. Г., Брандт Н. Б., Мошchalkов В. В., Случанко Н. Е., Ясницкий Р. И., Чудинов С. М. Письма в ЖЭТФ, 1983, т. 37, № 5, с. 299—302.
- [3] Bredl C. D., Horn S., Steglich F., Martin R. Phys. Rev. Lett., 1984, vol. 52, N 7, p. 1984—1987.
- [4] Sparr G., Lieke W., Gottwich U., Steglich F., Grewe N. J. Mag. Mag. Mat., 1985, vol. 47—48, N 1, p. 521—524.
- [5] Алиев Ф. Г., Брандт Н. Б., Бурханов Г. С., Залялютдинов М. К., Мошchalkов В. В., Ковачик В., Случанко Н. Е. Письма в ЖЭТФ, 1986, т. 43, № 11, с. 521—522.
- [6] Алексеевский Н. Е., Алиев Ф. Г., Брандт Н. Б., Залялютдинов М. К., Мошchalkов В. В., Ковачик В., Митин А. В., Чудинов С. М. Письма в ЖЭТФ, 1986, т. 43, № 10, с. 482—484.
- [7] Brandt N. B., Moshchalkov V. V. Advan. Phys., 1984, vol. 33, N 2, p. 373—401.
- [8] Алиев Ф. Г., Брандт Н. Б., Залялютдинов М. К., Мошchalkов В. В., Ковачик В., Чудинов С. М., Ясницкий Р. И. ЖЭТФ, 1987, т. 92, № 3, с. 902—912.
- [9] Zlatić V. J. Phys. (F), 1981, vol. 11, N 12, p. 2147—2152.
- [10] Brodele G. E., Fisher R. A., Phillips N. E., Flouquet J. Phys. Rev. Lett., 1986, vol. 56, N 4, p. 390—393.
- [11] Алиев Ф. Г., Брандт Н. Б., Мошchalkов В. В., Сидоров В. И., Луцев Р. В. ФТТ, 1982, т. 24, № 10, с. 3151—3154.

Московский государственный
университет им. М. В. Ломоносова
Москва

Поступило в Редакцию
29 декабря 1987 г.