

ДИЭЛЕКТРИЗАЦИЯ СПЕКТРА У КОНДО-СИСТЕМЫ CeNiSn ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Ф.Г.Алиев, Н.Б.Брандт, В.В.Моцалков,
М.К.Залялютдинов, Р.В.Сколосдра,
О.Э.Корецкая, Г.И.Пак

Обнаружена первая стехиометричная кондо-решетка на основе церия – CeNiSn, испытывающая переход в когерентное диэлектрическое состояние ниже $T = 10$ К. Исследовано влияние гидростатического сжатия и изменения состава на основное состояние CeNiSn.

1. В последние годы наиболее актуальной проблемой в физике систем с тяжелыми фермионами (СТФ) является проблема когерентного состояния. Имеющиеся экспериментальные данные свидетельствуют о наличии перехода из некогерентного режима кондовского рассеяния при $T > T_K$ (T_K – характерная температура Кондо, $T_K \sim 10$ К) в когерентный режим при $T < T^* \approx T_K/5$ ^{1, 2}. Возникновение когерентного состояния проявляется в ферми-жидкостном убывании электросопротивления³, а также в максимуме на электронной части теплоемкости γ ¹, что позволило высказать предположение о возникновении щели в плотности электронных состояний вдоль некоторых направлений в зоне Бриллюэна. С другой стороны, к настоящему времени известен ряд соединений редкоземельных элементов, главным образом Sm и Yb (например SmB₆⁴, YbB₁₂⁵), в которых, по-видимому, приходится ровно один электрон на магнитный центр⁶ и переход к когерентному состоянию индуцирует не ферми-жидкостное уменьшение электросопротивления, а его экспоненциальное возрастание. В настоящей работе сообщается о комплексных исследованиях гальваномагнитных, термоэлектрических, термодинамических и магнитных свойств системы CeNiSn, позволяющих сделать вывод об обнаружении первого стехиометричного соединения Ce, в котором возникает когерентная щель в плотности электронных состояний, подобная наблюдаемым в SmB₆ и YbB₁₂. Краткие сообщения о возможности существования когерентного диэлектрического состояния в CeNiSn, основанные только на резистивных измерениях, были опубликованы ранее Такабатакой с соавторами⁷ и нами⁸.

2. Методика гальваномагнитных и термоэлектрических измерений подробно описана в работе⁹. Измерения теплоемкости проводились в диапазоне температур ($2 < T < 15$) К квазиadiaбатическим импульсным методом. Поликристаллические образцы CeNiSn готовились путем сплавления шихты из чистых компонентов, содержащих не менее 99,99% основного компонента, в электродуговой печи в атмосфере очищенного аргона и гомогенизировались при температуре 600°С. Кристаллическая симметрия соединения CeNiSn соответствует структурному типу, описанному в работе¹⁰.

3. На рис. 1 представлены температурные зависимости магнитного вклада в удельное электросопротивление $\rho_M = \rho(\text{CeNiSn}) - \rho(\text{LaNiSn})$ для двух образцов CeNiSn и твердых растворов Ce_{1-x}La_xNiSn. В диапазоне ($80 < T < 300$) К кривая $\rho_M(T)$ у CeNiSn характеризуется участком кондовского роста электросопротивления $\rho \sim \ln T$. При $T < 10-30$ К уменьшение температуры индуцирует экспоненциальное возрастание электросопротивления (см. вставку на рис. 1): $\rho_M \sim \exp(\epsilon_g/2k_B T)$ с параметром $\epsilon_g \approx (6-10)$ К. Температурная зависимость электронной части теплоемкости CeNiSn $C/T = f(T^2)$ представлена на рис. 2. Экстраполяция "высокотемпературного" участка кривой C/T к $T = 0$ дает величину $\gamma \approx 200$ мДж/моль·К², характерную для кондо-систем с $T_K \approx (30-50)$ К. В диапазоне $T < 6$ К на зависимости C/T наблюдается слабый максимум и уменьшение величины γ при $T \rightarrow 0$. Замещение части атомов Ce на La приводит к подавлению низкотемпературного диэлектрического состояния (рис. 1, 2).

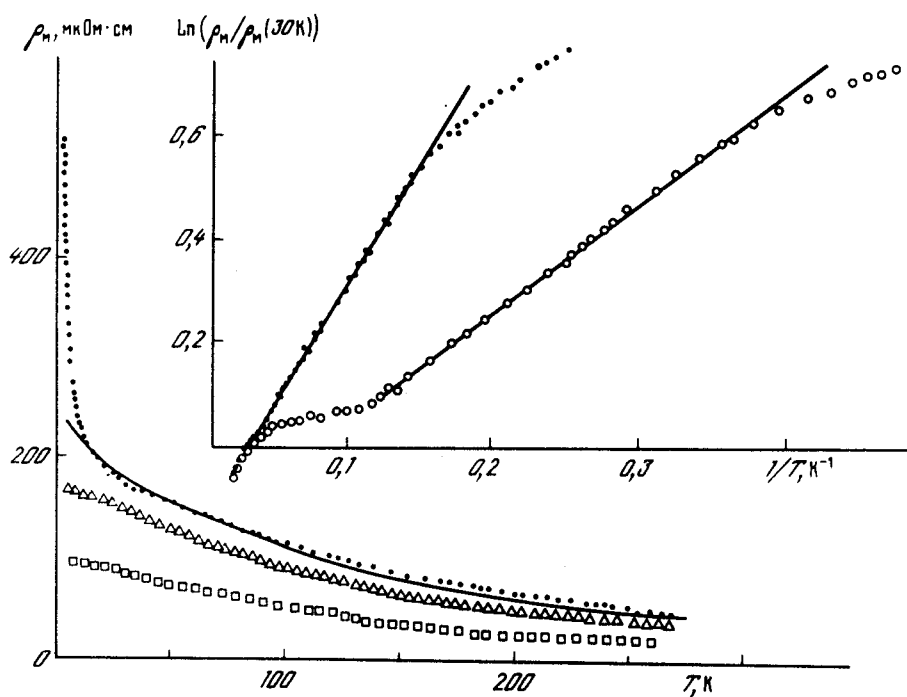


Рис. 1. Температурные зависимости магнитного вклада в удельное сопротивление $\text{Ce}_{1-x}\text{La}_x\text{NiSn}$ для составов с $x=0$ (точки); $x=0,1$ (линия); $x=0,5$ (Δ); $x=0,2$ (\square). На вставке показаны зависимости $\ln(\rho_M/\rho_M(30\text{K})) = f(1/T)$ для образцов № 58 (\bullet) и № 52 (\circ)

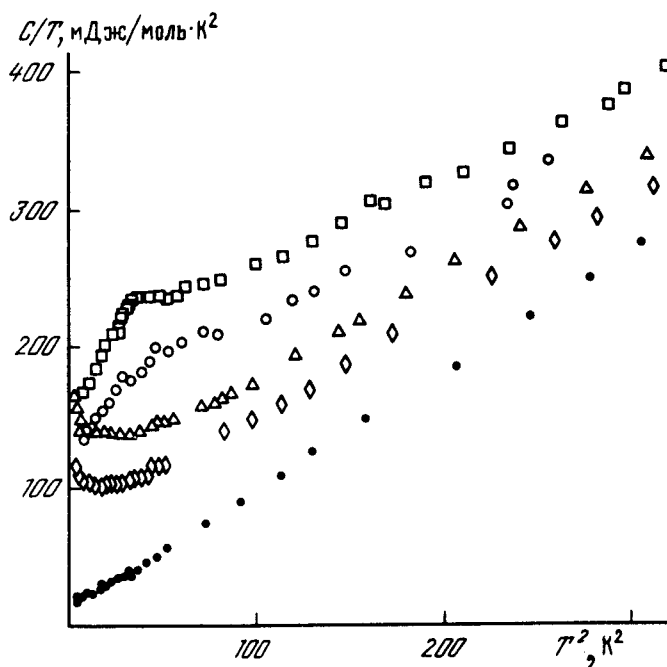


Рис. 2. Температурные зависимости электронного вклада в теплоемкость у $\text{Ce}_{1-x}\text{La}_x\text{NiSn}$ для составов с $x=0$ (\square); $x=0,03$ (\circ); $x=0,1$ (Δ); $x=0,5$ (\circ) и $x=1$ (\bullet)

Дифференциальная термоэдс $S(T)$ у CeNiSn , измеренная относительно меди, характеризуется максимумом вблизи $T \approx 80$ К и ростом значений S в диапазоне $T < 20$ К, где открывается щель вблизи энергии Ферми. Коэффициент Холла у CeNiSn при высоких температурах близок к величине, типичной для нормальных металлов, и существенно возрастает при понижении температуры в диапазоне $T < 4,2$ К. Холловская концентрация носителей при $T = 4,2$ К составляет $n_H \approx 10^{21} \text{ см}^{-3}$.

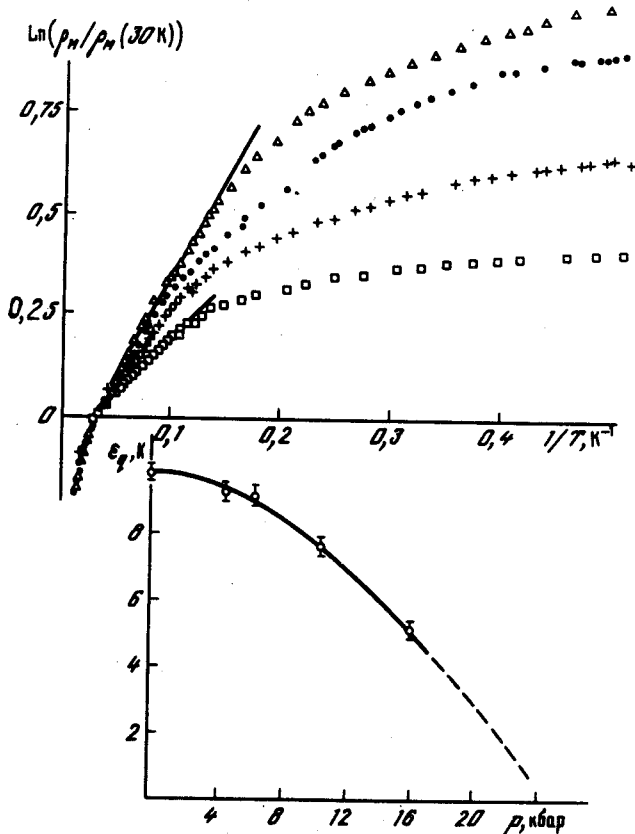


Рис. 3. Влияние гидростатического сжатия на температурные зависимости нормированного вклада в удельное сопротивление у CeNiSn № 58 в координатах $\text{Ln}(\rho_M / \rho_M(30 \text{ K})) = f(1/T)$ (Δ - $p = 1$ бар; \bullet - 6,5 кбар; $+$ - 10,5 кбар, \square - 16,1 кбар). На вставке показана барическая зависимость энергетической щели $\epsilon_g(p)$

Воздействие гидростатического давления p до 16,1 кбар индуцирует вначале плавное уменьшение величины ϵ_g (см. вставку на рис. 3), а затем при $p > 6$ кбар более резко со скоростью $d\epsilon_g/dp \approx 0,45$ К/кбар, причем экстраполяция к значению $\epsilon_g = 0$ дает $p_k \approx 24$ кбар. После снятия давления первоначальный вид зависимости $\rho(T)$ восстанавливается.

4. Возникновение щели в зонном спектре CeNiSn при $T < 10$ К не может быть следствием магнитного перехода, так как на температурной зависимости теплоемкости отсутствуют присущие для такого перехода аномалии, а магнитная восприимчивость при $T \rightarrow 0$ характеризуется лишь незначительным отклонением от кюри-вейссовской зависимости $\chi(T)$. Причиной диэлектризации спектра у CeNiSn при низких температурах может быть то, что в этом соединении число свободных электронов, приходящихся на магнитный атом Ce (n), в точности равно единице ($n = 1$). В этой ситуации поверхность Ферми при $T \ll T_K$ должна иметь нулевой объем, поскольку, если учесть $4f$ -электроны, то на зону приходится два элек-

трона и она должна быть полностью заполнена. Численный расчет, проведенный в работах ^{11, 12} позволил показать, что выполнение критерия $n = 1$ индуцирует возникновение щели на ϵ_F и экспоненциальное возрастание $\rho \sim \exp(\epsilon_g/2k_B T)$ практически независимо от параметра $s - f$ -обменного взаимодействия. Замещение магнитных атомов Ce на немагнитный La в $Ce_{1-x}La_xNiSn$, приводящее к нарушению баланса $n = 1$ в сторону увеличения n ($n > 1$), индуцирует плавное подавление диэлектрического состояния и переход к логарифмическому росту $\rho(T)$ в области промежуточных x . В заключение отметим, что диэлектризация спектра в когерентном режиме недавно обнаружена также у $Ce(Pd_{1-x}Cu_x)_3$ при $x > 0,33$ ¹³, однако, в отличие от CeNiSn, в этой системе существует беспорядок, обусловленный замещением палладия на медь.

Литература

1. *Bredl C.D., Horn S., Steglich F. et al.* Phys. Rev. Lett., 1984, 52, 1984.
2. *Алиев Ф.Г., Брандт Н.Б., Бурханов Г.С. и др.* Письма в ЖЭТФ, 1986, 43, 521.
3. *Andres K., Graebner J.E., Ott H.R.* Phys. Rev. Lett., 1975, 35, 1779.
4. *Берман И.В., Брандт Н.Б., Мощалков В.В. и др.* Письма в ЖЭТФ, 1983, 38, 393.
5. *Kasuya M., Iga F., Takigawa M., Kasuya M.* J. Magn. Magn. Mater., 1985, 47 - 48, 429.
6. *Moshchalkov V.V.* J. Mag. Mag. Mat., 1984, 47 - 48, 7.
7. *Takabatake T., Nakazawa Y., Ishikawa M.* J. Appl. Phys., 1987, 26, 547, .
8. *Алиев Ф.Г., Брандт Н.Б., Мощалков В.В., и др.* Препринт № 4 Физического факультета МГУ, 1988.
9. *Алиев Ф.Г., Брандт Н.Б., Мощалков В.В. и др.* ЖЭТФ, 1987, 92, 902.
10. *Скологздрa Р.В., Корецкая О.Э., Гореленко Ю.К.* Изв. АН СССР (Неорганические материалы), 1984, 20, 604.
11. *Lacroix C., Cyrot M.* Phys. Rev. B, 1979, 20, 1969.
12. *Jullen R., Pfeuty P., Fields J.N., Doniach S.* J. Physique, Suppl., 1979, 40, с.5, р. 293.
13. *Kasuya T., Kasuya M., Takegahara K. et al.* Comm. Met., 1987, 127, 337.