

На практике реализуются К.-р. двух типов. В К.-р. с промежуточным значением $|I|$ и $T_{РККИ} \geq T_K$ (CeV_6 , CeAl_3 , CeIn_3 и др.) видны кондовские аномалии сопротивления, термоэде, теплоёмкости, магн. восприимчивости, однако в области достаточно низких темп-р тенденция к переходу в состояние с замороженными спинами оказывается доминирующей. В результате осн. состояния системы локализованных спинов являются магнитным, но на характер магн. структуры кондовские флуктуации спина оказывают заметное влияние (магн. К.-р.).

В К.-р. с $T_K \geq T_{РККИ}$ (CeAl_3 , CeCuSi_2 , CeCu_6 , UBe_{13} и др.) доминируют локальные кондовские флуктуации, причём каждый f -ион вносит независимый вклад в усиление амплитуды $g_R(\epsilon_F)$ резонанса Абрикосова — Сула (и е м а г н. К.-р.). При этом все параметры, связанные со значением g_R , отличаются на 2—3 порядка от соответствующих параметров у нормальных металлов: немагн. К.-р. обладают гигантским электронным коэф. теплоёмкости (γ пропорц. g_R), усиленным Паули парамагнетизмом (магнитная восприимчивость χ пропорц. g_R), аномалиями электропроводности, термоэде, коэф. Холла и т. д. (табл.). Темп-ра Кондо в немагн. К.-р. $T_K \sim 2-10$ К, что на 3 порядка меньше темп-ры вырождения электронного газа в нормальных металлах. Чрезвычайно узкому резонансу в немагн. К.-р. отвечают квазичастицы с эфф. массой $m^* \sim (10^2-10^3)m_0$ (m_0 — масса свободного электрона), наз. *тяжёлыми фермионами*.

Низкотемпературные свойства немагнитных кондо-решёток по сравнению с нормальным металлом (Cu)

	γ , мДж/моль·К	χ , ст/моль	$\frac{m^*}{m_0}$	Скорость фермионских электронов v_F , см/с
CeCu ₂ Si ₂	1050	$0,65 \cdot 10^{-2}$	200	$\sim 10^8-10^9$
CeAl ₃	1650	$3,6 \cdot 10^{-2}$	500	$\sim 10^8-10^9$
Cu	0,695	$10^{-5}-10^{-6}$	0,1-1,0	$0,6 \cdot 10^8$

ми. В связи с этим немагн. К.-р. наз. также системами с тяжёлыми фермионами.

Положение резонанса относительно ϵ_F зависит от кратности ν вырождения f -уровня, т. к. при $T=0$ К резонанс заполнен на $1/\nu$ часть. В реальных К.-р. эфф. кратность вырождения определяется соотношением между величиной расщепления f -уровня во *внутрискристаллическом поле* Δ и T_K . Если наимизшее, отщепленное кристаллич. полем состояние является дублетом ($j=1/2, \nu=2$) и $\Delta > kT_K$, то $1/\nu=1/2$ и при темп-рах $T \leq T_K$ резонанс образуется точно на уровне Ферми (рис. 2). Если $\Delta < kT_K$, в формировании резонанса участвуют все $(2\nu+1)$ проекций спина, причём т. к. в реальных К.-р. $\nu > 2$ (напр., в цериевых К.-р. $\nu=6$), то резонанс несколько смещён относительно ϵ_F (рис. 3).

Амплитуда резонанса Абрикосова — Сула в интервале $T=(0,1-10) T_K$ не зависит от T , при этом в силу условия $T_K \geq T_{РККИ}$ её величина представляет собой сумму независимых вкладов всех кондо-примесей. При $T \leq 0,1 T_K$ необходим учёт когерентности кондовских

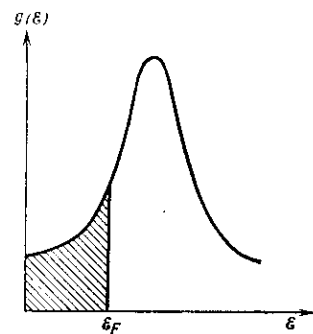


Рис. 3. Плотность электронных состояний в немагн. К.-р. с кратностью вырождения $\nu > 2$.

флуктуаций спина, приводящей к появлению на резонансе псевдощели на уровне Ферми.

В 1979 Ф. Штеглихом (F. Steglich) в CeCu_2Si_2 была открыта «сверхпроводимость тяжёлых фермионов». В дальнейшем она обнаружена у UBe_{13} , UPt_3 , URu_2Si_2 . Сверхпроводники с тяжёлыми фермионами обладают необычными свойствами как в нормальном состоянии, так и в сверхпроводящей фазе. В частности, при малых значениях темп-р сверхпроводящего перехода $T_c \sim 0,5-0,9$ К они имеют очень высокие критич. магн. поля, высокую чувствительность к примесям. Аномальные свойства сверхпроводников с тяжёлыми фермионами указывают на необычный характер *сверхпроводимости*, отличный от традиц. механизма БКШ. В частности, обсуждается возможность возникновения сверхпроводимости электронных пар с ненулевым орбитальным моментом, аналогичной *сверткетности* фазы A в ^3He .

Лит.: Абрикосов А. А., Магнитные примеси в немагнитных металлах, «УФН», 1969, т. 97, с. 403; Уайт Р., Квантовая теория магнетизма, пер. с англ., 2 изд., М., 1985; Steglich F. и др., Superconductivity in the presence of strong Pauli paramagnetism: CeCu_2Si_2 , «Phys. Rev. Lett.», 1979, v. 43, p. 1892; Tsvetlick A. M., Wiegmann P. B., Exact results in the theory of magnetic alloys, «Adv. Phys.», 1983, v. 32, p. 453; Brandt N. B., Moshchalkov V. V., Concentrated Kondo systems, «Adv. Phys.», 1984, v. 33, p. 373; Мошchalkов В. В., Брандт Н. В., Немагнитные кондо-решетки, «УФН», 1986, т. 149, в. 4, с. 585.

В. В. Мошchalkов.

КОНИЧЕСКАЯ РЕФРАКЦИЯ — особый вид преломления света в двусосных кристаллах, наблюдаемый в тех случаях, когда направление светового луча совпадает с к.-л. оптич. осью кристалла (бинормально или бирадиально; см. *Кристаллооптика*). К. р. теоретически была предсказана в 1832 У. Р. Гамильтоном (W. R. Hamilton), применившим Гюйгенса — Френеля принцип при рассмотрении распространения света в двусосном кристалле в указанном направлении. Экспериментально К. р. была обнаружена Х. Ллойдом (H. Lloyd) в 1833.

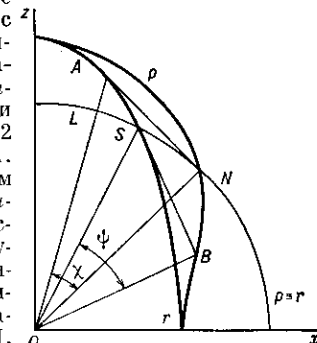


Рис. 1.

На рис. 1 изображены сечения лучевой и волновой поверхностей двусосного кристалла плоскостью hoz . Поверхность нормалей пересекается hoz по окружности ($p=r$) и овалу (p), N — двойная точка поверхности нормалей, ON — оптическая ось волновых нормалей. Лучевая поверхность пересекается плоскостью hoz по той же окружности ($r=p$) и эллипсу (r), S — двойная точка лучевой поверхности, OS — лучевая оптическая ось.

Одному волновому вектору, направленному вдоль ON , соответствует множество лучевых векторов (таких, как OA на рис.), проведённых в точку касания лучевой поверхности с плоскостью, перпендикулярной ON (её след на hoz есть AN). Эти лучевые векторы образуют полный конус с круговым основанием (т. н. конус в н у т р е н н е й р е ф р а к ц и и) с углом раствора χ , определяемым соотношением $\text{tg } \chi = \sqrt{(\epsilon_x - \epsilon_y)(\epsilon_y - \epsilon_z) / \epsilon_x \epsilon_z}$. Аналогично одному вектору, направленному вдоль лучевой оптич. оси OS , соответствует множество волновых векторов (типа OB), проведённых в точку пересечения волновой поверхности с плоскостью, касательной к лучевой поверхности в точке S . Эти волновые векторы образуют полный конус с круговым основанием (конус в н е ш н е й р е ф р а к ц и и) с углом раствора ψ , определяемым соотношением $\text{tg } \psi = \text{tg } \chi \sqrt{\epsilon_x \epsilon_z / \epsilon_y}$.

Внутр. К. р. можно наблюдать, если на пластинку, вырезанную из двусосного кристалла перпендикулярно