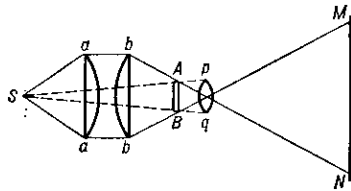


ности линз К. имеют более сложную форму — парабо-лоидальную, эллипсоидальную и т. д. Разрешающая способность микроскопа повышается с увеличением апертуры его К. Часто К. из неск. линз (с диафрагмой) используется в спектральных приборах для получения

Схема проекционного аппарата с конденсором: S — источник света; *aa'bb'* — конденсор; *AB* — проецируемый предмет; *pq* — проекционный объектив; *MN* — экран.



однородного освещения предмета при неоднородной структуре источника света.

Лит.: Тудоровский А. И., Теория оптических приборов, 2 изд., т. 2, М.—Л., 1952.

КОНДО ЭФФЕКТ — аномальная температурная зависимость электросопротивления сплавов немагн. металлов (Cu, Al, Ag, La, Lu и др.) с небольшим кол-вом магн. примесей — атомов переходных (Fe, Cr, Co, V) или редкоземельных (Ce, Yb, Tm) элементов. Аномалия состоит в том, что при понижении темп-ры электросопротивление R таких сплавов сначала убывает по закону, типичному для немагн. металлов, а затем при нек-рой характерной темп-ре T_K (темпера Кондо) проходит через минимум и далее остаётся конечным при $T \rightarrow 0K$ (рис. 1).

R , мкОм·см

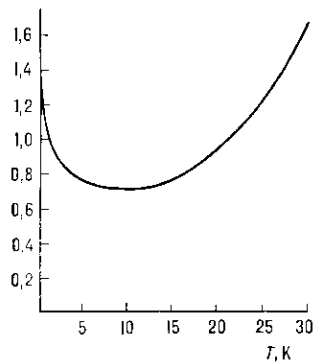


Рис. 1. Зависимость электросопротивления R сплава $(LaCl)Al_2$ (0,63 ат. % Cl) от температуры T .

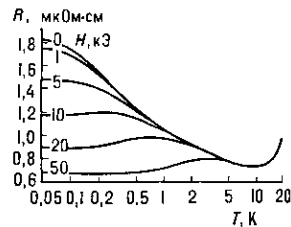
К. э. имеет квантовый характер и обусловлен антиферромагн. обменным взаимодействием электронов проводимости немагн. металла с магн. примесями — атомами с незаполненными d - или f -электронными оболочками, ионы k -рых в металле обладают магн. моментами.

Необычные свойства рассеяния электронов проводимости на примесных атомах, вызванного этим взаимодействием (рассеяние электрона может сопровождаться переворотом спинов электрона и примесного атома), приводят к ярко выраженным аномалиям кинетич., термич. и магн. свойств таких сплавов. Наблюдаются отрицат. магнетосопротивление (рис. 2), гигантский пик в температурной зависимости *термоэдс.*, максимум в температурной зависимости *теплоёмкости* и т. д. Магн. примеси понижают темп-ру сверхпроводящего перехода немагн. металла, а также при достаточной концентрации могут привести к явлению т. н. *возвратной сверхпроводимости*: при дальнейшем понижении темп-ры сплав из сверхпроводящей фазы переходит в нормальную, а затем при дальнейшем понижении темп-ры вновь становится сверхпроводником.

Описанные аномальные явления, экспериментально обнаруженные в 30-х гг. 20 в., были систематически исследованы в 60-х гг. В результате этого экспериментально установлен универсальный характер поведения магн. примеси в немагн. металле с темп-рой T_K , характерной для каждого сплава. T_K изменяется в широком диапазоне: напр., от 1K (для LaCe) до 300K (для AuV). При этом эффекты пропорц. концентрации примеси (т. е. не зависят от межпримесных корреляций) вплоть до концентрации примеси от $n \sim 10\%$ для атомов переходных элементов до $n \sim 1\%$ для редкоземельных.

Аномальные явления объясняются тем, что амплитуда I обменного рассеяния (см. Амплитуда рассеяния) электронов проводимости на примеси, приводящего к изменению проекции магн. момента примеси на направление спина электронов, эффективно растёт с пониже-

Рис. 2. Зависимость электросопротивления сплава $(LaCl)Al_2$ от температуры при различных величинах поля H (отрицательное магнетосопротивление).



нием темп-ры T или магн. поля H . В результате роста эфф. взаимодействия электроны проводимости создают повши. спиновую плотность вокруг атома примеси и полностью компенсируют её магн. момент. Вследствие этого при понижении темп-ры атом примеси теряет магн. момент и примесный вклад в электросопротивление возрастает. Компенсация магн. момента проявляется в экспериментах, напр. при понижении темп-ры ниже T_K магн. восприимчивость перестаёт расти и остаётся конечной при $T \rightarrow 0K$.

Первый шаг к теоретич. описанию этого явления был сделан Дж. Кондо (J. Кондо, 1964), к-рый в рамках простейшей модели рассмотрел вклад обменного взаимодействия электронов проводимости с примесными атомами в первом неборновском приближении. Оказалось, что эфф. взаимодействие логарифмически растёт при понижении T . В 1965 А. А. Абрикосов и Д. Сул (D. Soule) для $T \gg T_K$ установили соотношение [1, 2, 3]:

$$\rho I(T) \approx 1/\ln(T/T_K). \quad (1)$$

Здесь темп-ра Кондо $T_K \approx \mathcal{E}_F \exp(-1/IRn)$, где \mathcal{E}_F — энергия Ферми, ρ — плотность состояний при $\mathcal{E} = \mathcal{E}_F$, I — амплитуда обменного рассеяния зонного электрона на примесном атоме, R — электросопротивление, n — концентрация электронов. Тем самым были объяснены логарифмич. рост электросопротивления R сплавов при уменьшении T :

$$R \propto CI^2(T) \quad (2)$$

(C — концентрация примеси), и прекращение роста магн. восприимчивости χ вблизи T_K :

$$\chi(T) = \frac{1}{4T} (g\mu_B)^2 \left(1 - \frac{1}{\ln(T/T_K)}\right). \quad (3)$$

Здесь μ_B — магнетон Бора, g — гиромагн. отношение для иона. Соотношения (1–3) справедливы при $T \gg T_K$, когда обменное взаимодействие невелико $\{I(T) \ll 1\}$.

В области $T \leq T_K$ обменное взаимодействие уже не мало и методы теории возмущения не позволяют описать поведение магн. примеси. Проблема теоретич. описания низкотемпературных свойств магн. примеси в немагн. металле получила назв. *проблемы Кондо*. В дальнейшем применение идей и методов *ренормализационной группы* [Ф. У. Андерсон (Ph. W. Anderson), К. Г. Уилсон (K. G. Wilson) и др.], а также феноменологич. теории *ферми-жидкостей* (П. Нозьер, Р. Ж. Нозьерс, 1974) позволило выяснить, что обнаруженный в рамках теории возмущения рост эфф. обменного взаимодействия при понижении темп-ры продолжается и при $T < T_K$ и приводит к сильной связи примесного иона с электронами проводимости при $T = 0K$ [1]. Это означает полную компенсацию магн. момента примесного иона электронами проводимости и тем самым образование максимума плотности состояний ρ на поверхности Ферми. В результате этого осн. состояние атома примеси оказывается синглетным (её магн. момент при $T = 0K$ исчезает при $H \rightarrow 0$, магн. восприимчивость χ остаётся конечной при $T = 0K$, а все физ. величины при $T \ll T_K$ становятся регулярными