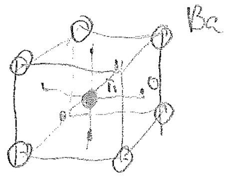
Magashőmérsékletű szupravezetők (HTC) High-T_c

Bednorz, Müller, 1986 (Nobel-díj 1987)

La - Ba - Cu - O oxid kerámia $T_c \approx 30K$

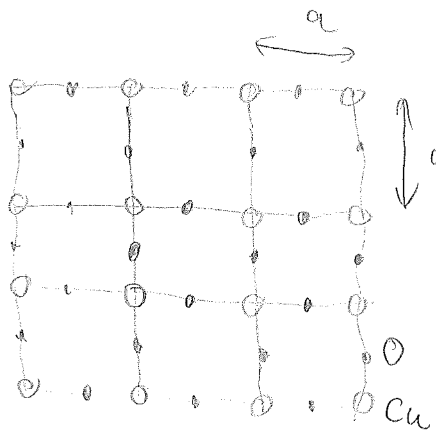
„módosított perovszkit szerkezet”

Perovszkit ($BaTiO_3$)

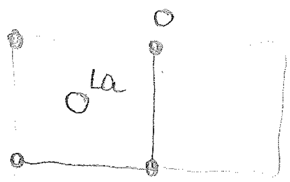


Kiinduló vegyület La_2CuO_4

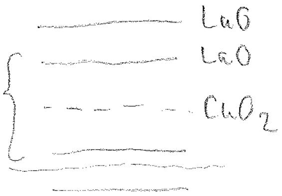
CuO_2 sík



LaO sík



„2d kéré”



$\underbrace{La^{3+}O^{2-}}$

1 elektront átad a CuO_2 síkba

$\cancel{Cu^{3+}}$ O. CuO_2 O_2 4- → Cu^{2+}

~ ~~félig betöltött sáv~~ $3d^9$ félig betöltött sáv

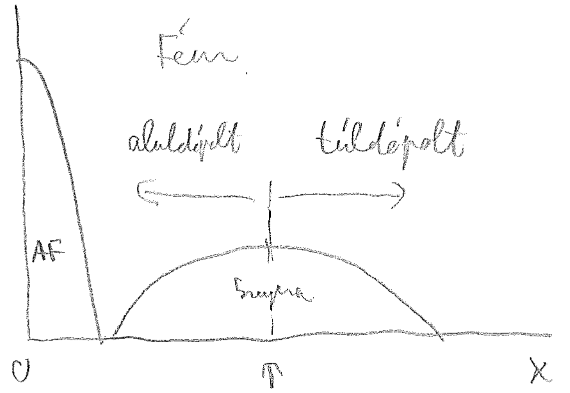
La_2CuO_4 antiferromágneses szigetelő $T_N = 240K$

$(BiO)_2(SrO)_2(CuO_2)(CaO\,CuO_2)_n$

Tl Ba

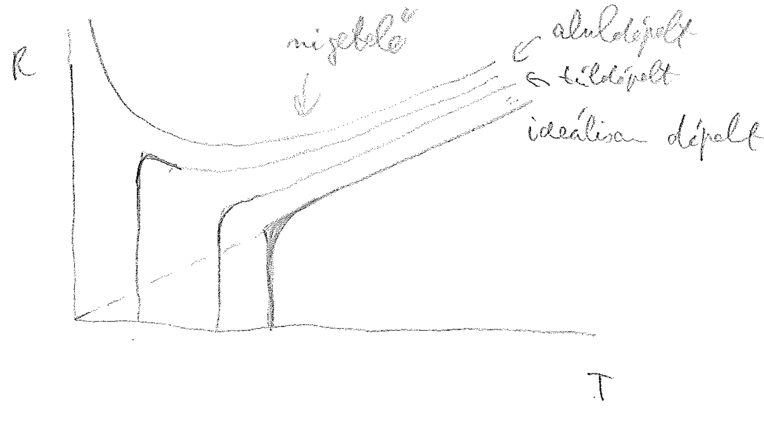
La $La_{2-x}Ba_xCuO_4$
      $La_{2-x}Sr_xCuO_4$ } vezető, szupravezető Ba^{2+}, Sr^{2+} alkáliföldfém

Fázisdiagram:

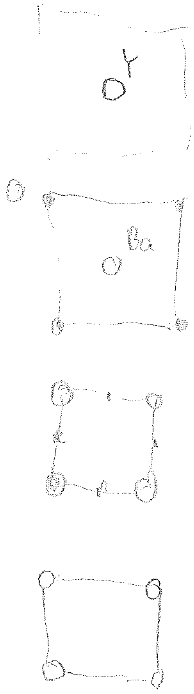


elektronkoncentráció

"optimálisan dópolt"



"YBCO" $YBa_2Cu_3O_{6+x}$



síkok Y

BaO

CuO_2

~~2X~~

Cu

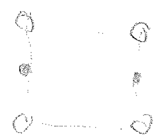
CuO_2

BaO

⋮

oxigén rendezés

$x=1$-re



CuO láncok

$T_c = 92\,K$

"BSCCO" $Bi_2Sr_2Ca_1Cu_2O_8$ $T_c =$

Közös vonás: CuO_2 vezető síkok szigetelő síkokkal elválasztva

erősen anizotróp 2d elektronrendszer

"Nemkonvencionális" szupravezetés

↓

alapállapot nem a "konvencionális" BCS állapot $|\Psi\rangle = \prod (u_k + v_k c^\dagger c^\dagger)$

Vissza a Cooper-problémához:

~~Schrödinger-egyenlet~~

Kölcsönhatási potenciál

$\cos\vartheta$ k, k'

$$V_{k,k'} = \sum_{l=0}^{\infty} (2l+1)\, V_l(k,k')\, P_l(\hat{k}\cdot\hat{k}')$$

Hullámfv.: $\Psi_k = \sum_{lm} a_{lm}\, \varphi_l(k)\, Y_{lm}(\hat{k})$

Eredetileg ~~csak az~~ föltettük, hogy $l=0$ tag a legnagyobb ("s-hullám")

Általánosságban $l\neq 0$ is lehet domináns:

$$V_l(k,k') = \begin{cases} -V_l, & \text{ha } |\xi_k|, |\xi_{k'}| < \epsilon_c \ll \epsilon_F \\ 0 & \text{egyébként} \end{cases}$$

$$(2\xi_k - E)\,\varphi_l(k) = +V_l N(0)\int_0^{\epsilon_c} \varphi_l(k')\, d\xi_{k'}$$

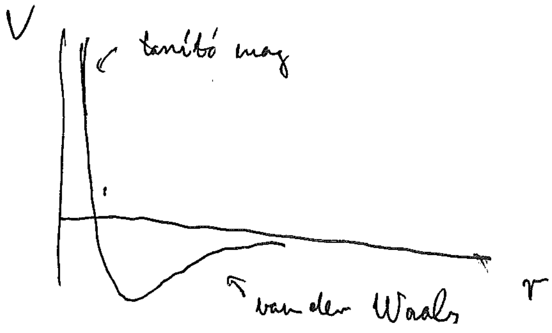
Alapállapot:

$$E = -2\epsilon_c\, e^{-\frac{2}{N(0)V_L}}$$ Cooper-pároknak l impulzusmomentuma van

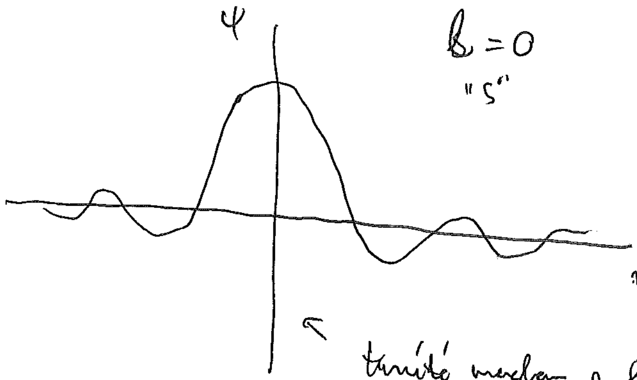
Miért $l\neq 0$ a domináns?

Például szuperfolyékony ^3He ↑ fermion

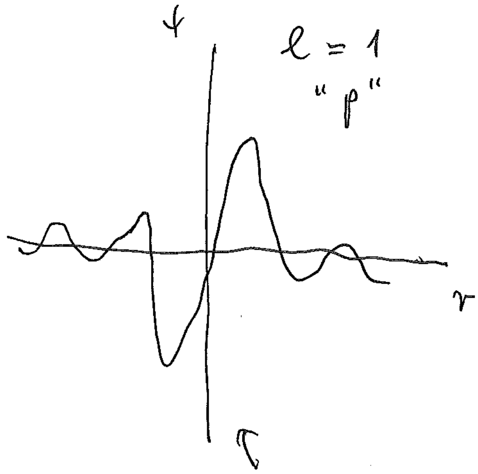
Kölcsönhatási potenciál (pl. Lennard-Jones ~~$\frac{1}{r^6}$~~ $\frac{a}{r^{12}} - \frac{b}{r^6}$



Cooper-pár hullámfüggvény



taszító magban a legnagyobb



elkerüli a taszító magot

^3He "p" típusú (lásd még neutroncsillag)

High-T_c "d" típusú ($l=2$)

taszító mag: Coulomb (keskeny sáv)

ψ Cooper-pár antiszimm. a részecskék felcserélésére

$$\left.\begin{array}{lll} l & & s \\ 0 & s & - \text{szinglett} \\ 1 & p & - \text{triplett} \\ 2 & d & - \text{szinglett} \\ \vdots & & \vdots \end{array}\right\}$$

$\Delta(\underline{k})$ is tükrözi a Cooper-párok szimmetriáját

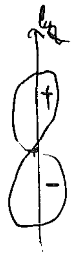
s: $\Delta(\underline{k}) = \Delta$

p: $\cancel{\Delta(-\underline{k}) = -\Delta(\underline{k})}$ – úgy transzformálódik, mint Y_1^m-ek lin. kombinációja

ψ_1 $\quad x f(r), \quad y f(r), \quad z f(r)$

$\qquad p_x \qquad p_y \qquad p_z$

Pl. ha p_z szimmetriájú rendparaméter:



$$\Delta(\underline{k}) = \Delta_0 k_z$$

$k_z = 0$-nál $\Delta(k) = 0$

$|\underline{k}| = k_F \quad k_z = k_F \cos\vartheta$

High $-T_c$

d - típusú $\rightsquigarrow$ szinglett ~~xy, xz, yz~~

~~megpr~~

5 db Y_2^m -ből $\quad xy\,f(r),\ xz\,f(r),\ yz\,f(r)$

$\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad d_{xy} \quad d_{xz} \quad d_{yz}$

High $-T_c$: $d_{x^2-y^2}$ $\quad (x,y)$ vezető sík

$\Delta(\underline{k}) \propto k_x^2 - k_y^2 \propto \cos 2\vartheta$

$\cancel{\Delta(\underline{k}) = \Delta_0\left[\cos(k_x a) - \cos(k_y a)\right] e^{i\varphi}}$

globális fázis

$(x^2-y^2)\,f(r) \quad (3z^2-r^2)\,f(r)$

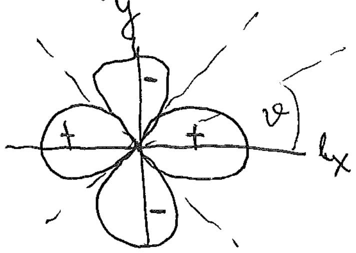
$d_{x^2-y^2} \quad d_{z^2}$

$k_x = k_F \cos\vartheta$

$k_y = k_F \sin\vartheta$

$\Delta(k) \propto \cos^2\vartheta - \sin^2\vartheta$

$= \cos 2\vartheta$

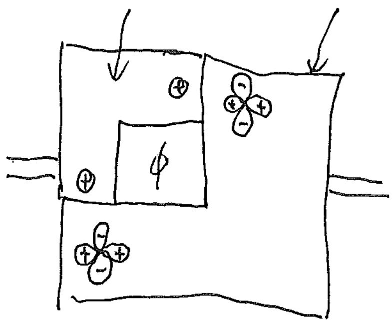


$|k_x| = |k_y| \rightsquigarrow \Delta(\underline{k}) = 0$

Kísérleti bizonyíték

Pb "s" $\qquad$ YBCO egykristály "d"

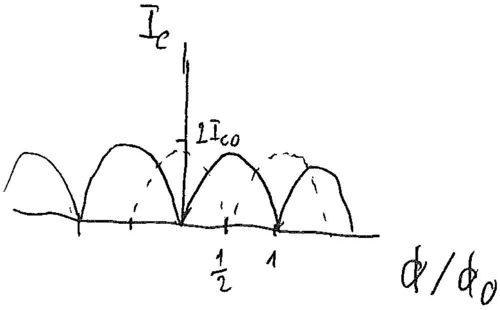
$\Delta(\underline{k}) = \Delta_0 \cos 2\vartheta\, e^{i\varphi}$ (globális fázis)



$\Phi = 0$-ra is folyik áram

$\Delta\varphi_1 + \Delta\varphi_2 = \pi \mod 2\pi$

$I_s = I_{c0} \sin\frac{\pi}{2} = I_{c0}$



2.) ~~Következmények~~ A gap nódusainak következményei

$$\text{"s"} \quad T \to 0 \quad n_n \propto e^{-\Delta/T}$$

$$p, d, \ldots \quad T \to 0 \quad n_n \propto T^{\alpha}$$

fajhő ↓ $C_e \propto T^2$

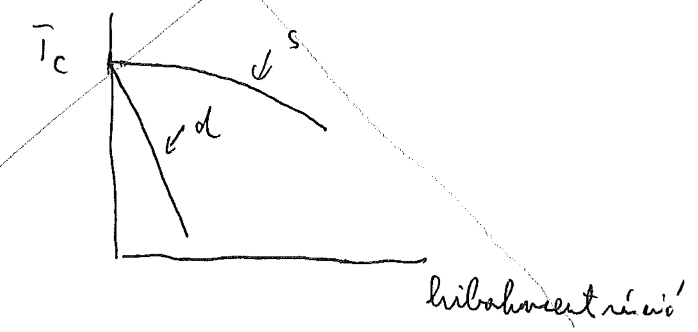
Tehát $$\frac{1}{\lambda^2_{ab}(T)} = \frac{1}{\lambda^2_{ab}(0)}\,(1 - aT)$$

4.) "s" $\underbrace{c^+_{k\uparrow}\, c^+_{-k\downarrow}}_{\text{időtükrözöttek}}$

piszkos kristály α és β időtükrözött elektronállapotok ⇝ egyenlő energiájúak

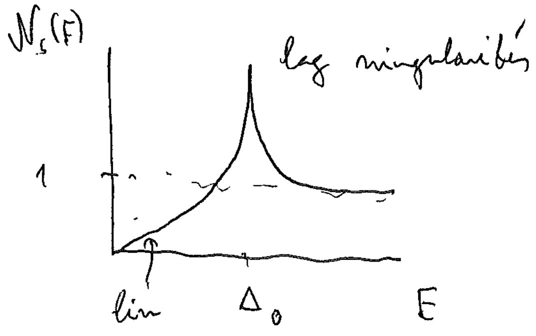
$$\langle c^+_{\alpha\uparrow}\, c^+_{\beta\downarrow} \rangle \neq 0$$

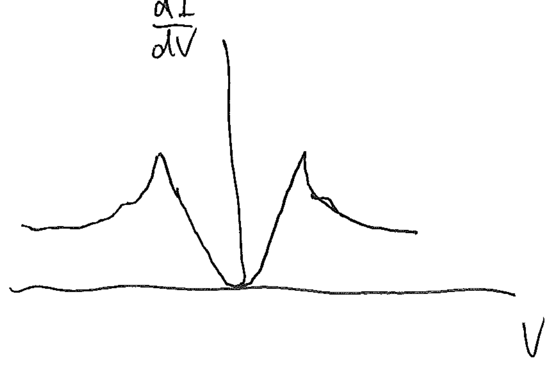
⇝ nemmágneses hibák ~~nem~~ "párfeltörő" hatása gyenge



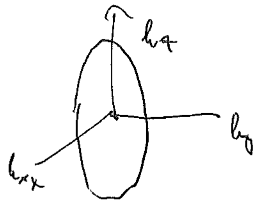
3.) Alagutazás

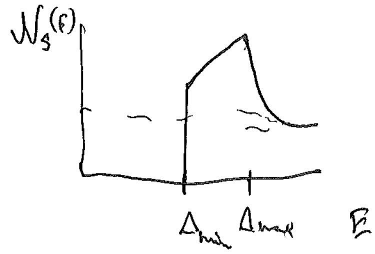
$$\Delta(k) = \Delta_0 \cos 2\vartheta$$





anizotróp s-hullám





eltűnik a szingularitás

(12)