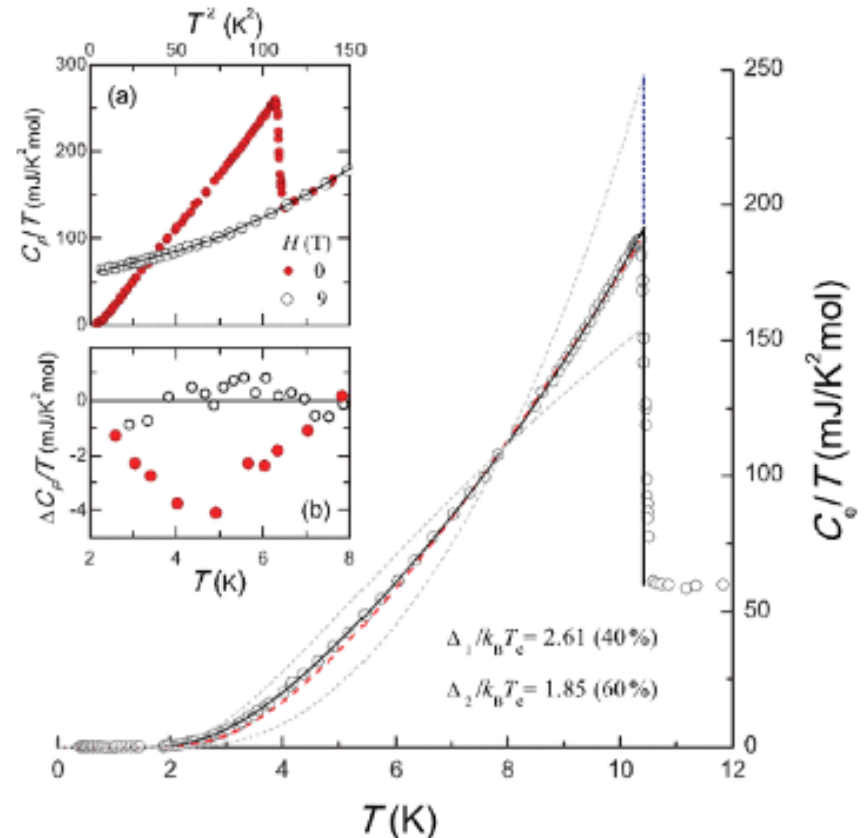


Mikrokontakťová spektroskopia supravodičov

Ondrej Šofranko

Motivácia na štúdium $\text{LaRu}_4\text{As}_{12}$

- Výsledky meraní merného tepla vykázali odchýlky od jednoduzerového modelu supravodiča.
- Overenie výsledkov komplementárnymi metódami je žiadúce.
- Overenie pomocou priamej metódy štúdia energetickej medzery supravodičov - mikrokontaktovej spektroskopie.



Závislosť merného tepla [1]

L. Bochenek, R. Wawryk, Z. Henkie, and T. Cichorek, PRB 86 (2012) 060511(R)

Teória supravodivosti BCS



Bardeen



Cooper

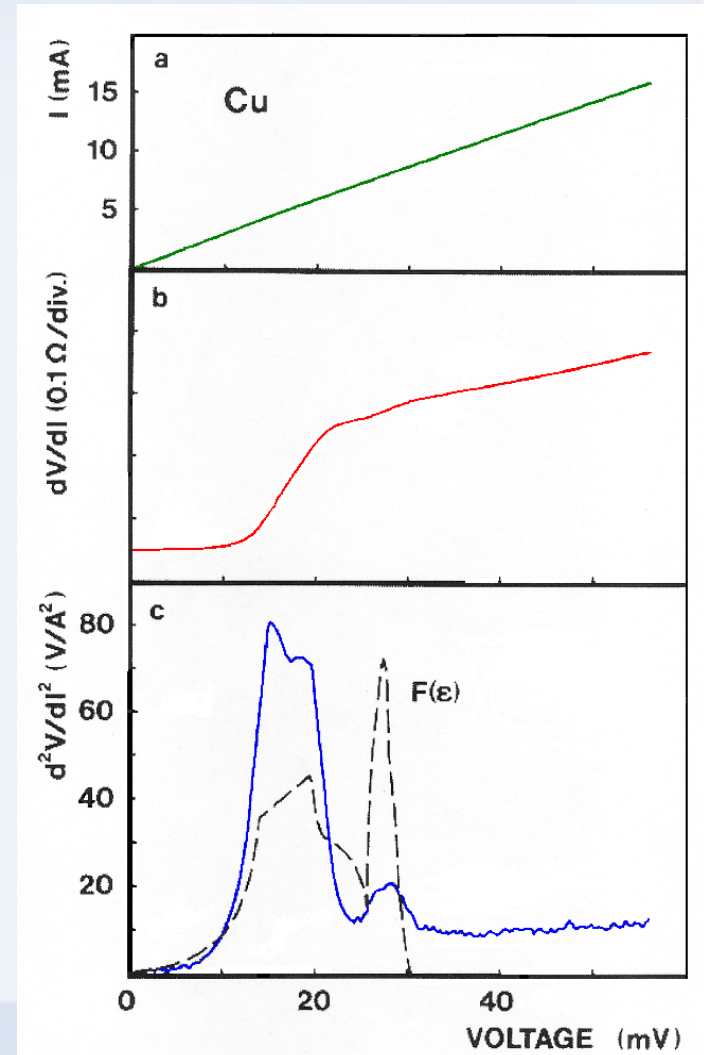


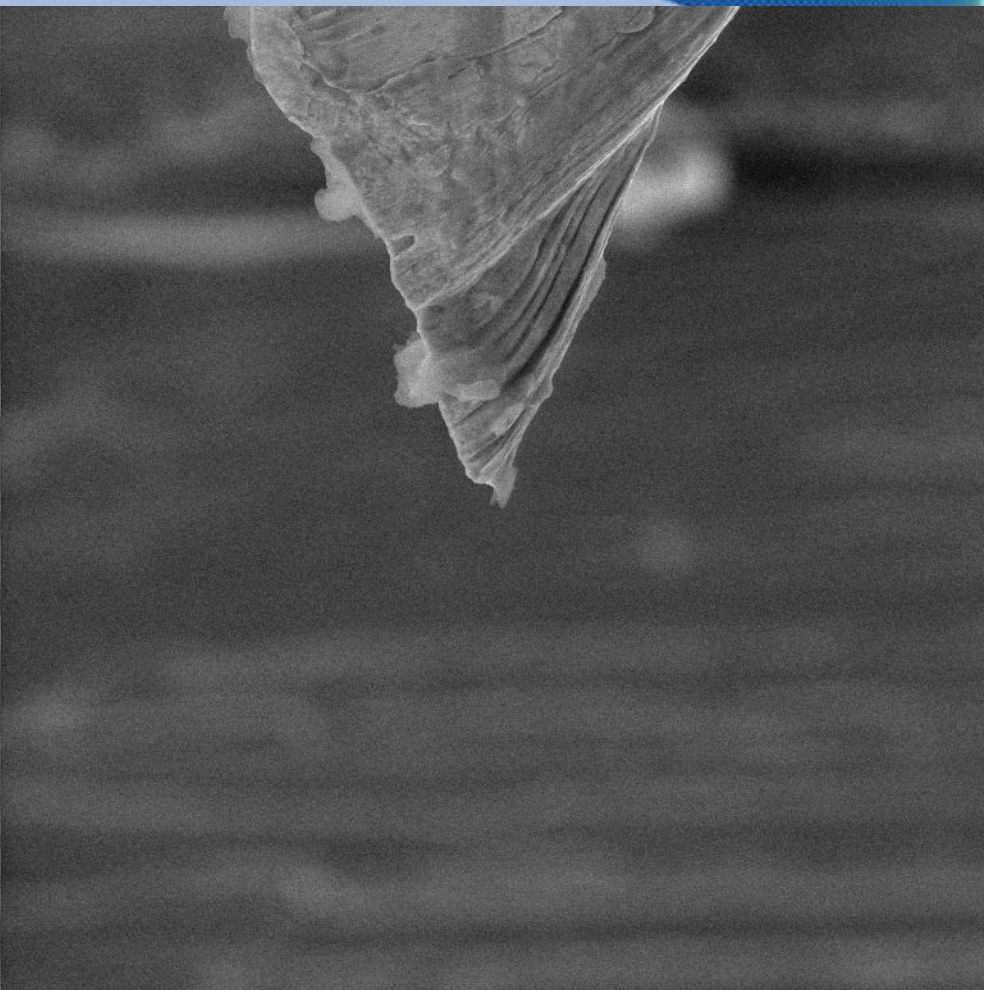
Schrieffer

- supravodiče majú energetickú medzeru
- v supravodičoch sú Cooperove páry
- sila väzby supravodiča vraví o pevnosti cooperových párov
- BCS teória popisuje vývoj energetickej medzery s teplotou
- sila väzby supravodiča je $2\Delta_0 / k_B T_c$
- pre štandardné supravodiče je sila väzby rovná 3,52

Mikrokontakťová spektroskopia mikrokontakt

- elektrický kontakt medzi dvoma vodivými materiálmi
- malé rozmery, rádovo 10 – 100 nm
- rozmery mikrokontaktov sú menšie ako stredná voľná dráha elektrónov v danom materiáli
- nelinearity volt-ampérových charakteristík mikrokontaktov odrážajú energetické spektrá elektrónov





SEM HV: 30.0 kV
View field: 109 μm
SEM MAG: 1.90 kx

WD: 15.61 mm
Det: SE
Date(m/d/y): 12/05/14



VEGA3 TESCAN

SEM HV: 30.0 kV
View field: 115 μm
SEM MAG: 1.81 kx

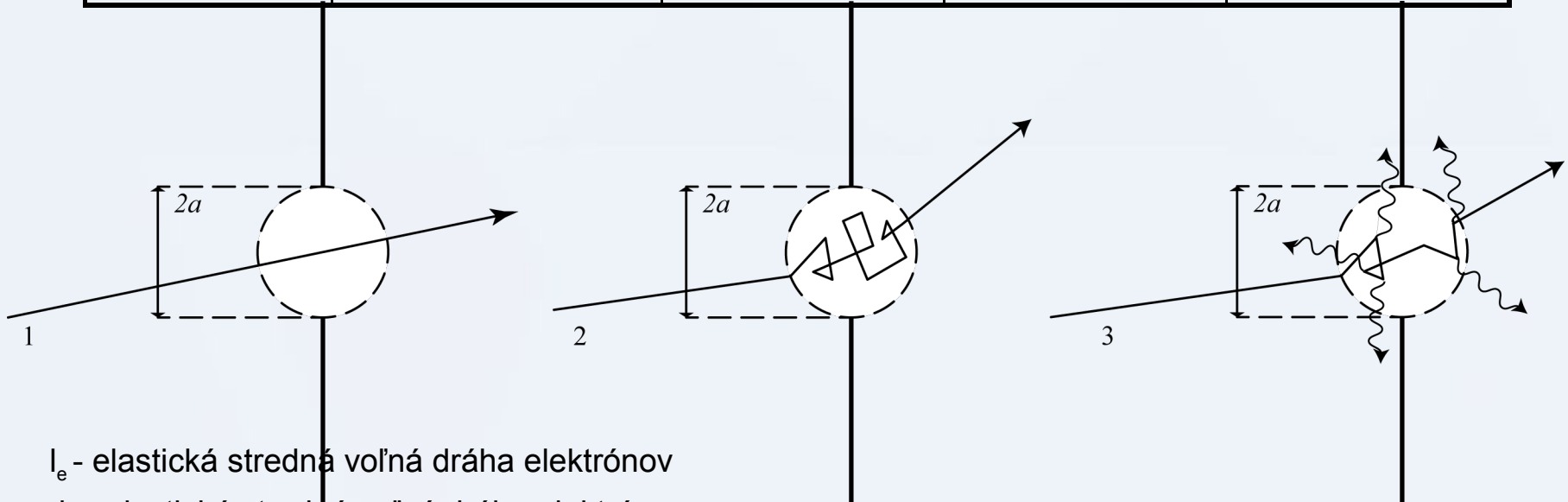
WD: 15.27 mm
Det: SE
Date(m/d/y): 12/05/14



VEGA3 TESCAN

Režimy prechodu elektrónov cez mikrokontakt

režim:	kvantový	balistický	difúzny	tepelný
	$d < \lambda_B < l_e, l_{in}$	$d \ll l_e, l_{in}$	$l_e < d < l_{in}$	$l_e, l_{in} < d$



l_e - elastická stredná voľná dráha elektrónov

l_{in} - elastická stredná voľná dráha elektrónov

d - priemer mikrokontaktu

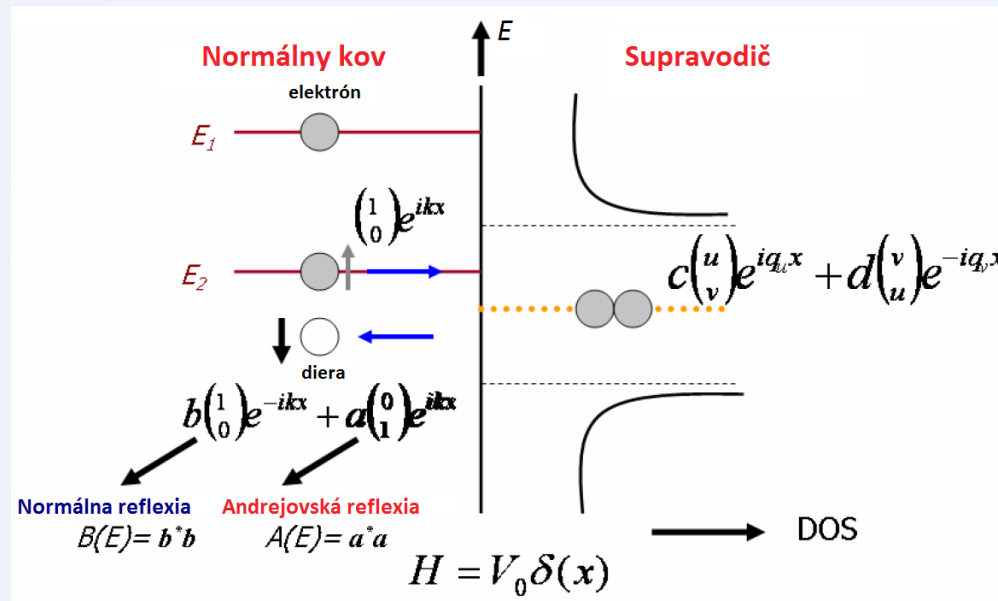
λ_B - de-Broglieho vlnová dĺžka elektrónov

Andrejevovská reflexia

- nárast vodivosti na dvojnásobok pre aplikované napätia $|V| < \Delta / e$



Andreev



normálna a Andrejevovská reflexia

Model BTK



Tinkham

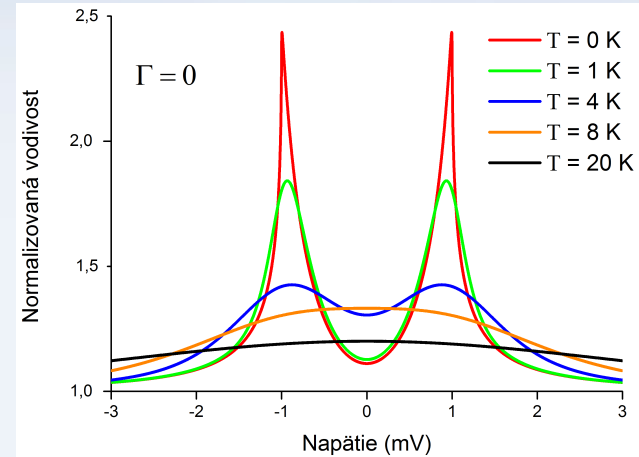
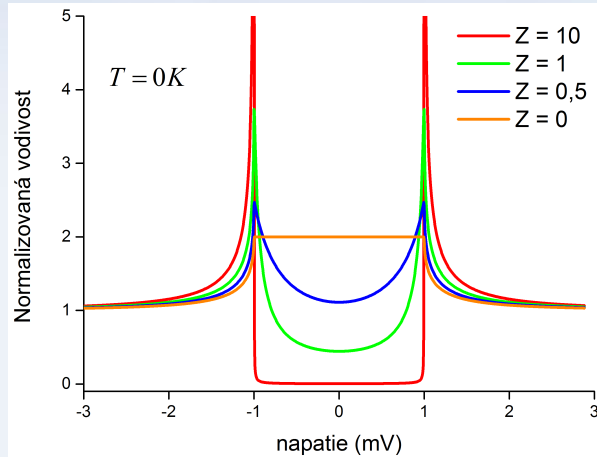


Klapwijk

Blonder

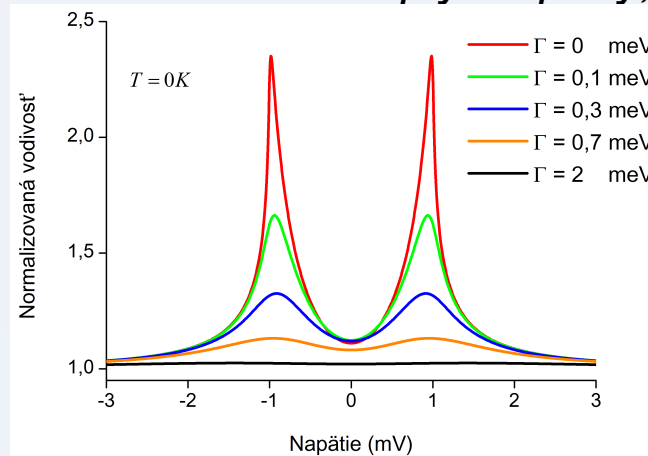
- mikrokontakt N – I – S, normálny kov – izolátor – supravodič
- parametre od ktorých závisí vodivosť pri danej energetickej medzere:
 - veľkosť bariéry na rozhraní
 - fenomenologické rozmazanie
 - teplota

Vplyv jednotlivých parametrov na mikrokontaktové spektrá



Vplyv parametra Z , ($\Delta = 1 \text{ meV}$, $T = 0 \text{ K}$)

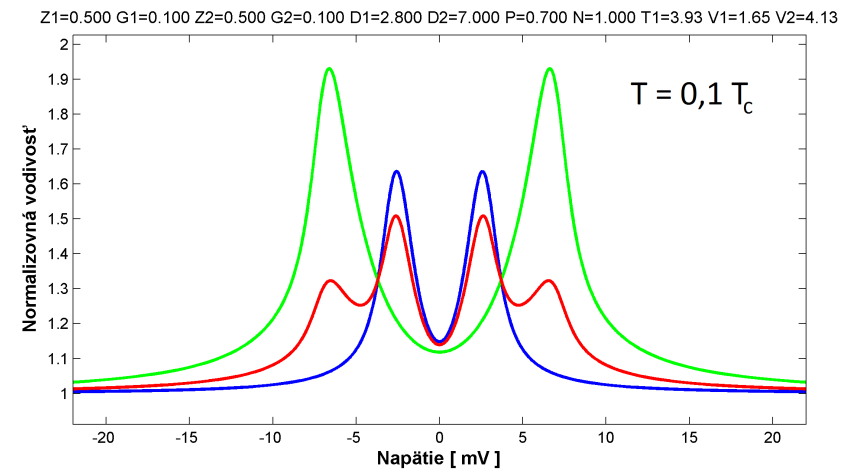
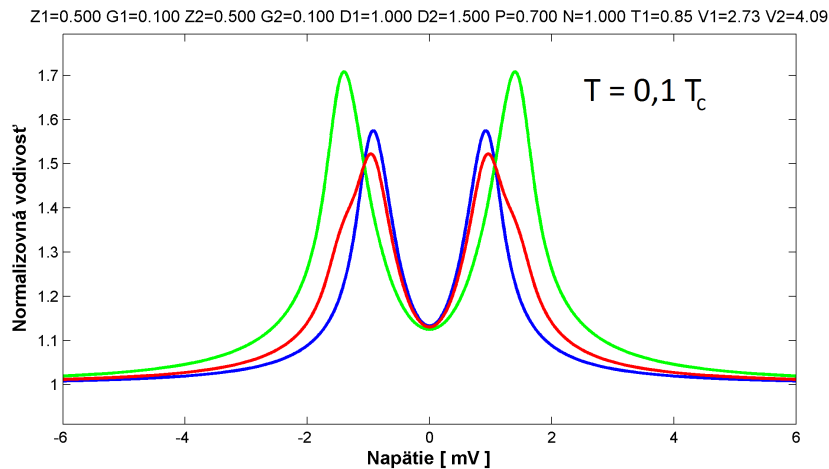
Vplyv teploty, ($\Gamma = 0$, $\Delta = 1 \text{ meV}$, $Z = 0,5$)



Vplyv parametra Γ , ($\Delta = 1 \text{ meV}$, $T = 0 \text{ K}$, $Z = 0,5$)

Dvojmedzerová supravodivosť

- lineárna superpozícia dvoch jednomedzerových spektier

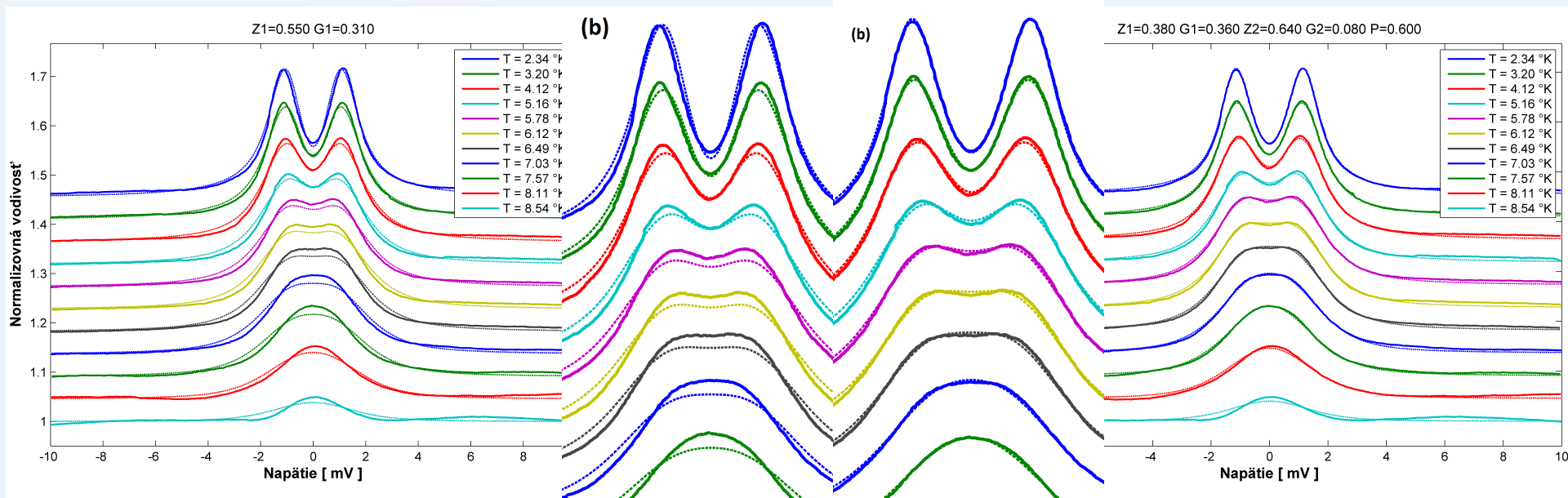


Mikrokontakové spektrum dvojmedzerového supravodiča pre dve blízke medzery. $\Delta_1 = 1 \text{ meV}$, $\Delta_2 = 1,5 \text{ meV}$, $\Gamma_1 = 0,1 \text{ meV}$, $\Gamma_2 = 0,1 \text{ meV}$, $Z_1 = 0,5$, $Z_2 = 0,5$, $P = 0,7$, $T = T_c/10 \text{ K}$, $T_c = 13,2 \text{ K}$, $2\Delta_1/k_B T_c = 2,7$, $2\Delta_2/k_B T_c = 4,1$

Mikrokontakové spektrum dvojmedzerového supravodiča pre dve vzdialené medzery. $\Delta_1 = 2,8 \text{ meV}$, $\Delta_2 = 7 \text{ meV}$, $\Gamma_1 = 0,1 \text{ meV}$, $\Gamma_2 = 0,1 \text{ meV}$, $Z_1 = 0,5$, $Z_2 = 0,5$, $P = 0,7$, $T = T_c/10 \text{ K}$, $T_c = 39,3 \text{ K}$, $2\Delta_1/k_B T_c = 1,7$, $2\Delta_2/k_B T_c = 4,1$

Analýza mikrokontaktových spektier

fit MK spektier dvojmedzerovým modelom

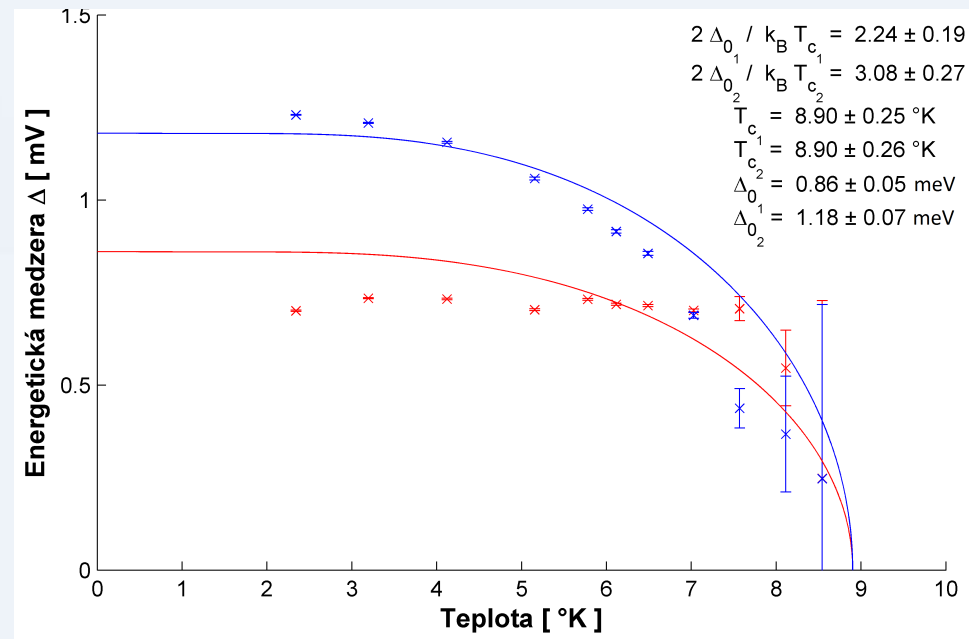
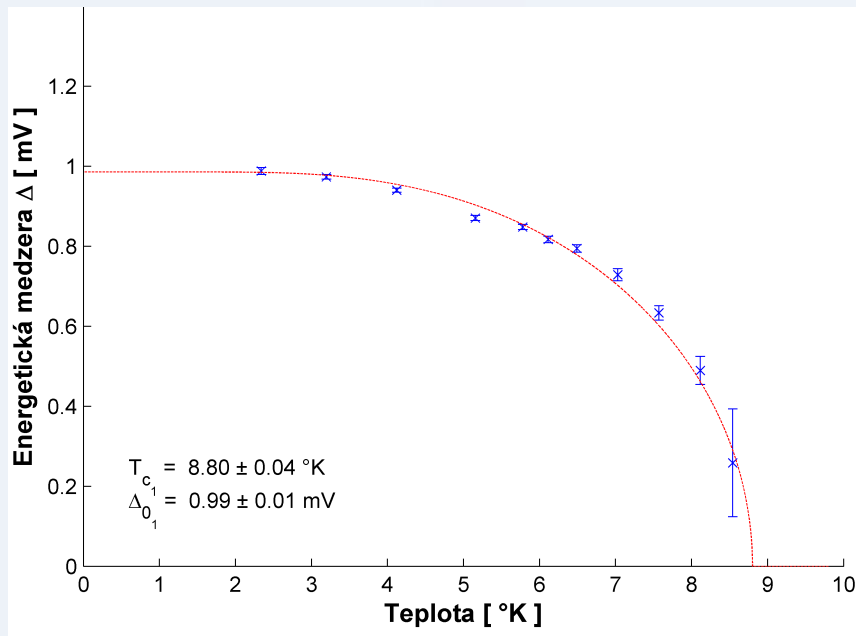


fit MK spektier jednomedzerovým modelom



Teplotná závislosť supravodivej energetickej medzery $\text{LaRu}_4\text{As}_{12}$

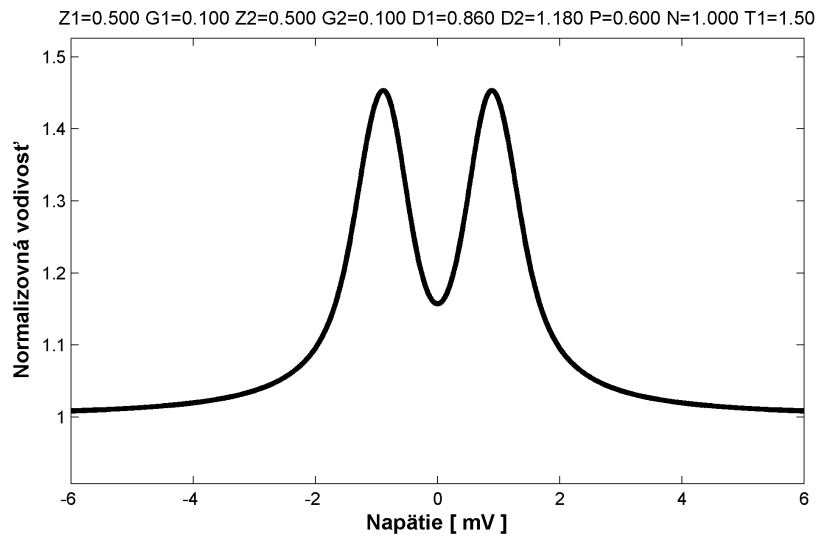
fit MK spektier dvojmedzerovým modelom



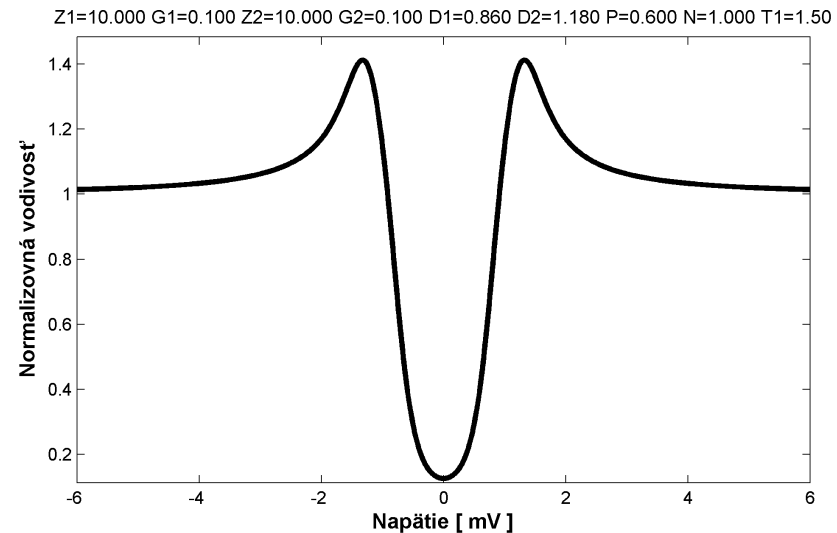
fit MK spektier jednomedzerovým modelom

Záver

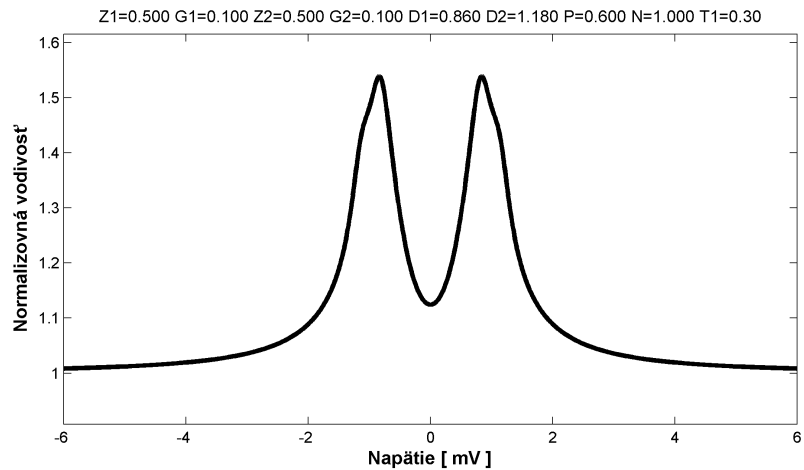
- vývoj energetickej medzery sa dá dobre popísať jednomedzerovým BTK modelom
- dvojmedzerový model popíše namerané dáta v lepšej zhode modelu s experimentom
- na overenie, že sa jedná o dvojmedzerový supravodič je nutné ďalšie štúdium pri nižších teplotách, prípadne pomocou tunelovej spektroskopie
- merania v magnetickom poli, ktoré môžu zobrazit' rôznu citlivosť jednotlivých medzier na magnetické pole. Napr. rôzne hodnoty horného kritického poľa.



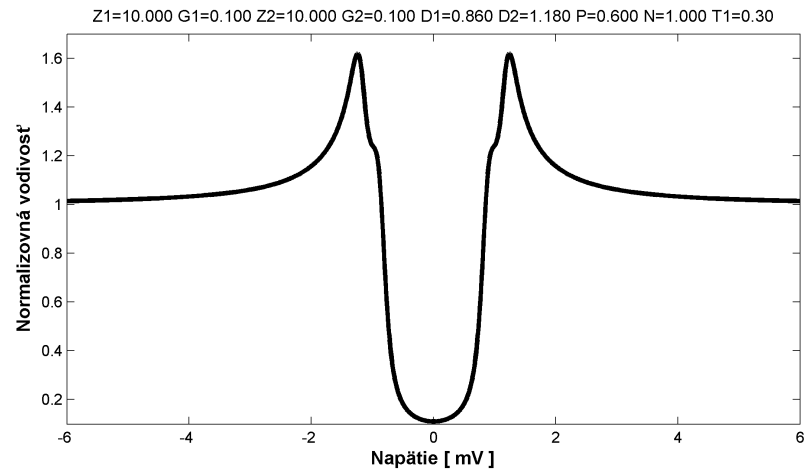
Simulácia MK spektra; $T = 1.5$ K; $\Gamma_1 = \Gamma_2 = 0,1$ meV; $Z_1 = Z_2 = 0,5$; $\Delta_1 = 0,86$ meV; $\Delta_2 = 1,18$ meV; $P = 0,6$;



Simulácia MK spektra; $T = 1,5$ K; $Z_1 = Z_2 = 10$; $\Gamma_1 = \Gamma_2 = 0,1$ meV; $\Delta_1 = 0,86$ meV; $\Delta_2 = 1,18$ meV; $P = 0,6$;



Simulácia MK spektra; $T = 0,3$ K; $\Gamma_1 = \Gamma_2 = 0,1$ meV; $Z_1 = Z_2 = 0,5$; $\Delta_1 = 0,86$ meV; $\Delta_2 = 1,18$ meV; $P = 0,6$



Simulácia MK spektra; $T = 0,3$ K; $Z_1 = Z_2 = 10$; $\Gamma_1 = \Gamma_2 = 0,1$ meV; $\Delta_1 = 0,86$ meV; $\Delta_2 = 1,18$ meV; $P = 0,6$;

Na tomto mieste ďakujem vedúcemu práce

prof. RNDr. Petrovi Samuelymu, DrSc.

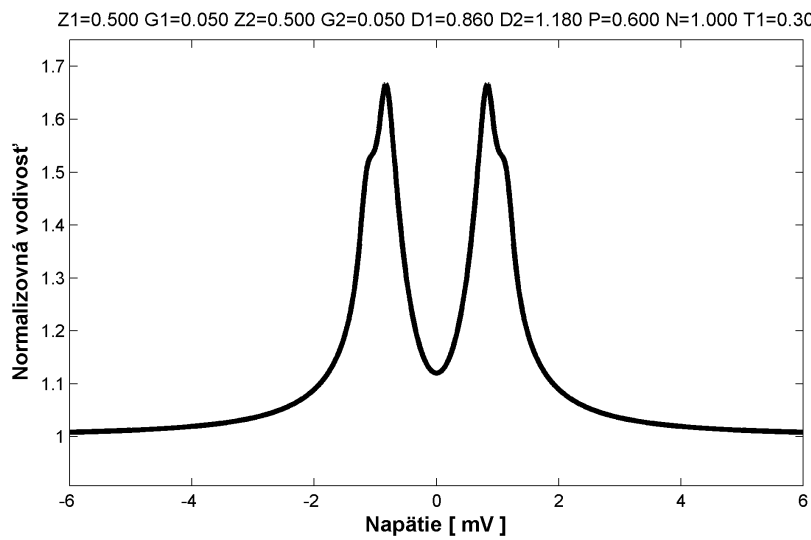
za čas strávený objasňovaním teórie a konzultáciami.

A **Mgr. Veronike Haškovej** za uvedenie do
problematiky merania a spracovávania
mikrokontaktoých spektier.

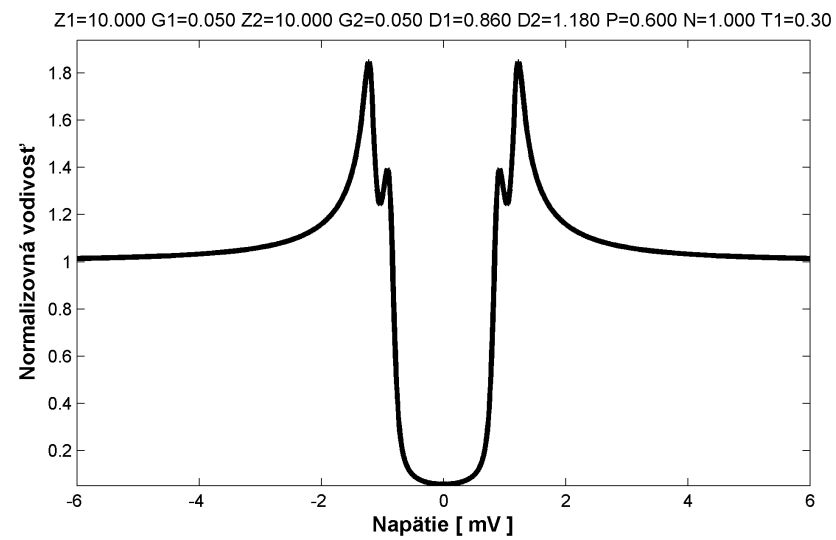
Ďakujem za pozornosť

Použitá literatura

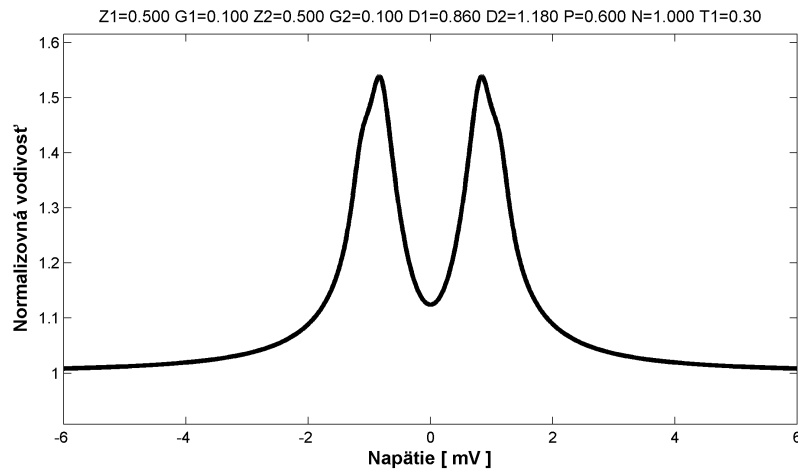
- [1] – L. Bochenek, R. Wawryk, Z. Henkie, and T. Cichorek, PRB 86 (2012) 060511(R)
- [2] – G. Sheet, Point contact Andreev reflection spectroscopy on superconductors and ferromagnets, June 2006, Mumbai



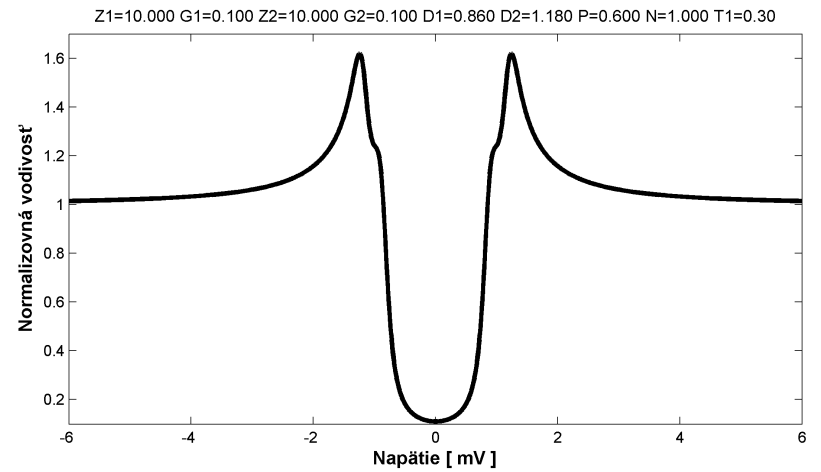
Simulácia MK spektra; $T = 0,3$ K; $\Gamma_1 = \Gamma_2 = 0,05$ meV; $Z_1 = Z_2 = 0,5$; $\Delta_1 = 0,86$ meV; $\Delta_2 = 1,18$ meV; $P = 0,6$



Simulácia MK spektra; $T = 0,3$ K; $Z_1 = Z_2 = 10$; $\Gamma_1 = \Gamma_2 = 0,05$ meV; $\Delta_1 = 0,86$ meV; $\Delta_2 = 1,18$ meV; $P = 0,6$;



Simulácia MK spektra; $T = 0,3$ K; $\Gamma_1 = \Gamma_2 = 0,1$ meV; $Z_1 = Z_2 = 0,5$; $\Delta_1 = 0,86$ meV; $\Delta_2 = 1,18$ meV; $P = 0,6$



Simulácia MK spektra; $T = 0,3$ K; $Z_1 = Z_2 = 10$; $\Gamma_1 = \Gamma_2 = 0,1$ meV; $\Delta_1 = 0,86$ meV; $\Delta_2 = 1,18$ meV; $P = 0,6$;