

# Potruga za novim elektronskim fazama u jako poddopiranim kupratnim supravodičima

Ana Najev

*Mentor: prof. dr. sc. Miroslav Požek*

Fizički odsjek, Prirodoslovno-matematički fakultet,  
Sveučilište u Zagrebu, Bijenička c. 32, 10 000 Zagreb

27. siječnja 2017.

# Kuprati i supravodljivost

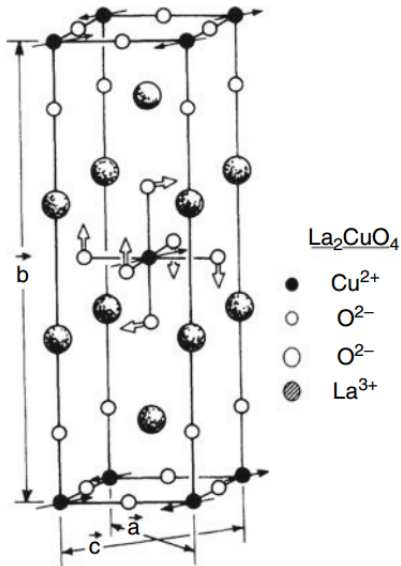
Stehiometrijski nedopirani kuprati:

- $\text{CuO}_2$  ravnine
- Mottovi izolatori
- Antiferomagneti ispod pripadne Neelove temperature

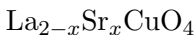
Dopiranje  $\rightarrow$  supravodljivost:

- Supravodljiva struja između  $\text{CuO}_2$  slojeva, anizotropija
- Svojstva ovise o koncentraciji nosioca naboja  $x$

$\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$  (kratica: LSCO)



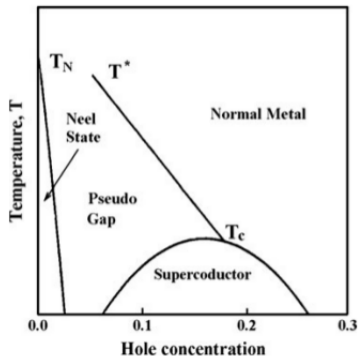
# Generički fazni dijagram kuprata<sup>1</sup>



Dopiranje šupljina  $x$ :

- $x_{opt} = 15\%$  najviši  $T_C$
- Poddopirani režim:  
 $x < x_{opt}$
- Naddopirani režim:  
 $x > x_{opt}$

Područje pseudoprocijepa ispod  $T^*$ : CDW, SDW, pruge, ...



<sup>1</sup>N. Plakida, High-Temperature Cuprate Superconductors, Springer series in solid-state science 166, 2010.

## Jako poddopirani režim

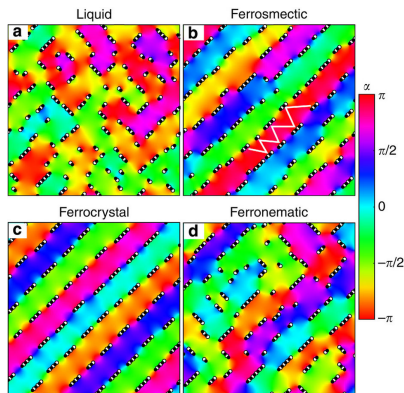
- Mottov antiferomagnet  $\rightarrow$  istiskivanje i segregacija naboja
- Delokalizacija dopiranih šupljina  $\rightarrow$  topološka pobuđenja - virovi spinskog uređenja
- Virovi i antivirovi  $\rightarrow$  samoorganizacija, sparivanje u dimere
- Efekti kao u meke materije - polimerizacija
- Feronematsko uređenje slomljene inverzijske simetrije

# Simulacije elektronskih uređenja jako poddopiranog režima<sup>2</sup>

- Crni i bijeli kružići - pozitivni i negativni topološki naboji, dopirane šupljine
- Različite boje - kut magnetizacije

Sustav bez nereda (*a-c*):

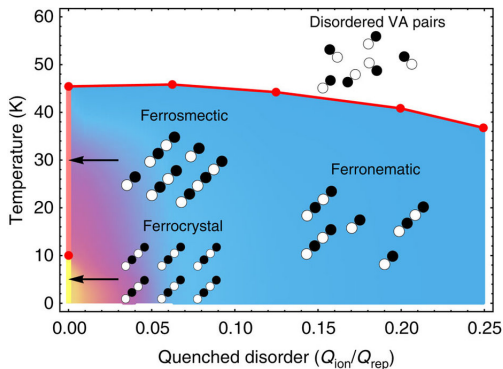
- a)  $T=50\text{K}$ , klasična tekućina dimera
- b)  $T=38\text{K}$ , ferosmektik
- c)  $T=8\text{K}$ , Wignerov kristal



Prigušeni nered: *d*)  $T=40\text{K}$ ,  
feronematik

<sup>2</sup>Capati, M. *et al.* Electronic polymers and soft-matter-like broken symmetries in underdoped cuprates. *Nat. Commun.* 6:7691.

# Teorijsko predviđanje



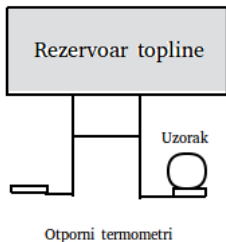
$Q_{ion}$  predstavlja ionski potencijal nereda koji djeluje na dopirane šupljine.  $Q_{rep}$  opisuje dugodosežno kulonsko odbijanje među šupljinama.

Fazni dijagram<sup>3</sup> kao funkcija temperature i veličine nereda.

→ LSCO  $x_{ud} = 3\%$

<sup>3</sup>Capati, M. *et al.* Electronic polymers and soft-matter-like broken symmetries in underdoped cuprates. *Nat. Commun.* 6:7691.

# Kalorimetrijska metoda ispitivanja uzoraka: Diferencijalna termalna analiza



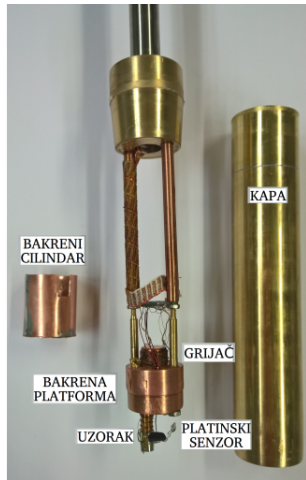
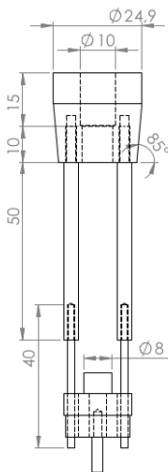
Promjene u toplinskom  
kapacitetu  
↕  
Fazni prijelazi



Stakleni kriostat.

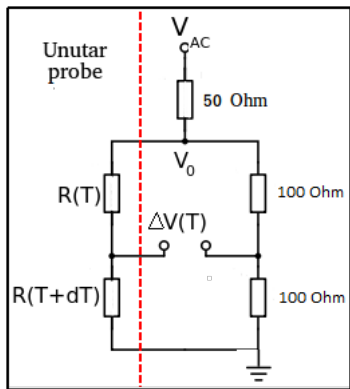
# Eksperimentalna realizacija DTA i konstrukcija probe

- Dovoljno masivna platforma od bakra
- CERNOX temperaturni senzor za određivanje temperature platforme
- Bakrene i konstantantske žice
- Termalizacija žica
- Smanjenje utjecaja toplinskog zračenja





# Eksperimentalna realizacija DTA i konstrukcija probe



Sklop za DTA.

$$\Delta V \propto C_p \frac{dT}{dt} \frac{dR}{dT}$$



Gornji dio probe s vakuumskim izlazom i konektorom.

# Princip mjerenja, smanjenje šuma i analiza dobivenih podataka

- Maleni praškasti uzorci  $\rightarrow$  vrlo mali signali (reda  $\mu\text{V}$ ).
- Potrebno otkloniti šum eksperimentalnih uređaja.

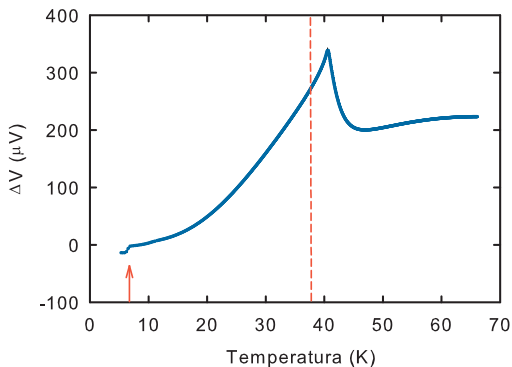
*Lakeshore 336* temperaturni kontroler:

- Problem: postojeća opcija linearnog grijanja.  
Rješenje: Kontrola snage grijača.

$$P(t) = \frac{\xi t^2}{1 + \eta t}$$

- Problem: Preciznost od 6 decimala pri očitavanju otpora.  
Određivanje temperature iz diskretne baze vrijednosti otpora.  
Rješenje: *Agilent 34420A* digitalni multimetar (7 decimala).
- Pad osjetljivosti platinskih termometara ispod 50K.

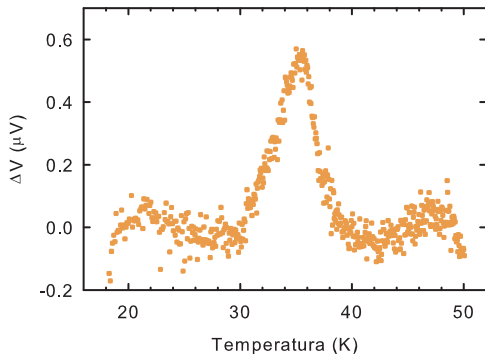
## Rezultati mjerenja: $\text{CoF}_2$



(Rezultati nisu korigirani na stvarnu vrijednost temperature uzorka.)

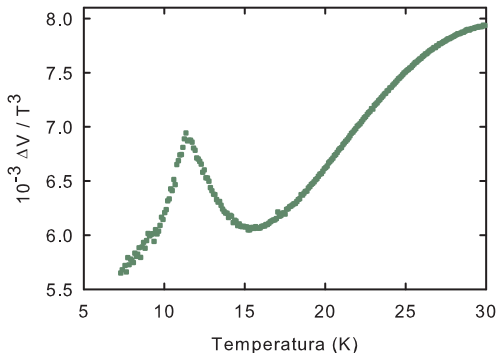
- Monokristalni uzorak kobalt fluorida  $m=25\text{mg}$ .
- Antiferomagnetski fazni prijelaz drugog reda.
- Očekivana temperatura:  $T_N=38\text{K}$   
Izmjerena temperatura:  $T_N=40.5\text{K}$
- Supravodljivi prijelaz lema (60Sn-40Pb) 7.8K

## Rezultati mjerenja: Optimalno dopiran LSCO



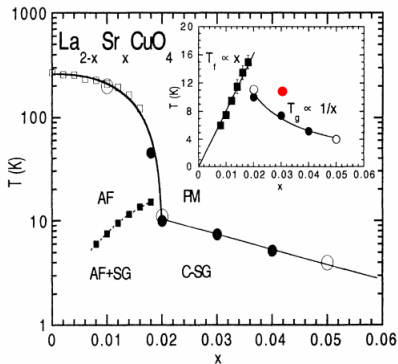
- Mali monokristalni uzorak mase 6.5mg
- Očekivani supravodljivi prijelaz - 37K, izmjereni - 35.5K.
- Visoka osjetljivost DTA (signal jačine  $0.5\mu\text{V}$ ).

## Rezultati mjerenja: LSCO dopiran s $x_{ud} = 3\%$ šupljina



- Uzorak u prahu mase 124.7mg
- Na jako niskim temperaturama dominira fononski doprinos toplinskom kapacitetu  $\propto T^3$ .
- Jasna detekcija faznog prijelaza oko 11K.

# Usporedba rezultata s mjerenjima provedenim NQR-om



Magnetski fazni dijagram<sup>4</sup>  
 $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ . Crni kvadrati  
prikazuju mjerenja dobivena  
NQR.

PM (paramagnet), AF  
(antiferomagnet), SG  
(staklasto spinsko uređenje),  
CSG (klustersko staklasto  
spinsko uređenje).

- $x = 3\%$ : Staklasto spinsko uređenje oko 7K.
- Uzorci do  $x < 2\%$ : neobično dugodosežno spinsko uređenje  
 $T_f \propto x$ .

---

<sup>4</sup>F. C. Chou *et al.* Magnetic Phase Diagram of Lightly Doped  
 $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$  from  $^{139}\text{La}$  Nuclear Quadrupole Resonance. *Phys. Rev.*  
*Lett.* 71, 232 (1993)

## Sažetak

- Uspješno je konstruirana proba za detekciju malih promjena u toplinskom kapacitetu.
- Različitim metodama maksimalno smo uklonili šum i naponske oscilacije.
- DTA pokazala se uspješna pri detekciji signala veličine  $0.5\mu V$ .
- Detektiran je antiferomagnetski prijelaz  $CoF_2$ .
- Detektiran je supravodljivi prijelaz  $La_{1.85}Sr_{0.15}CuO_4$ .
- Mjerenja na LSCO  $x = 3\%$  pronalaze jasan fazni prijelaz oko 11K  $\rightarrow$  potrebna su daljnja istraživanja za potvrdu feronematske faze.

Hvala na pažnji.

Veliko hvala prof. Miroslavu Požeku i Damjanu Pelcu.



## DODATAK: Određivanje stvarne temperature uzorka

Funkcija prilagodbe na podatke ovisnosti otpora platinskih termometara o temperaturi (nagli pad osjetljivosti ispod 50K):

$$R(T) = AT \exp(-(\Delta/T)^\beta)$$

$$\frac{V_0}{V_{AC}} = \frac{R_{most}}{R_{most} + 50\Omega}$$
$$R_{most}^{-1} = \frac{1}{200\Omega} + \frac{1}{R(T) + R(T + \Delta T)}$$

$$\frac{V_0}{V_{AC}} = \frac{4}{5 + \frac{200\Omega}{R(T) + R(T + \Delta T)}}$$

$$\frac{\Delta V}{V_0} = \frac{\Delta V}{V_{AC}} \frac{1}{4} \left( 5 + \frac{200\Omega}{R(T) + R(T + \Delta T)} \right)$$

$$\frac{\Delta V}{V_0} = \frac{1}{2} - \frac{R(T)}{R(T) + R(T + \Delta T)}$$

