

# Supravodiče

M. Odstrčil, T. Odstrčil  
FJFI - ČVUT, Břehová 7, 115 19 Praha 1  
michal@qmail.com, tom@cbox.cz

## Abstrakt

V článku je popsán náš experiment, jehož cílem bylo určit kritickou teplotu vysokoteplotních supravodičů YBaCuO a BSCCO. Potom jsme rozebrali problémy, které vznikly během těchto měření, možné způsoby jejich vysvětlení a odstranění.

## 1 Teoretický úvod

Supravodiče se dělí do dvou základních druhů, supravodiče I. a II. typu, podle toho jak se chovají v silném magnetickém poli. My jsme naše měření prováděli na vysokoteplotních supravodičích, které se řadí do supravodičů II. typu. Jiné než vysokoteplotní není možné měřit ve školních praktikách, protože zatímco ty supravodiče, se kterými jsme pokus prováděli, stačilo ochladit dusíkem, ostatní supravodiče by se musely chladit kapalným heliem a to už je technicky podstatně náročnější.

Při kritické teplotě ( $T_C$ ) se začínají elektrony v supravodiči spojovat do Cooperových párů, které jsou na rozdíl od elektronů bosony a proto mohou být všechny v jednom kvantovém stavu. A právě jejich korelace způsobuje supravodivost. A určení této kritické teploty je cílem tohoto experimentu. Kritickou teplotu určíme změřením závislosti odporu na teplotě.

## 2 Použité přístroje a pomůcky

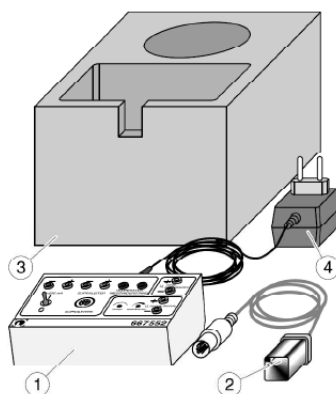
K měření jsme použili sadu na měření přechodové teploty supravodičů od firmy LD Dialectic GmbH (obr. 1). Supravodič je v uložený sondě (číslo 2), která se vloží do tekutého dusíku. Výstup z tohoto přístroje, který převáděl měřené hodnoty odporu a teploty na napětí, jsme pak pomocí programu DataStudio zaznamenali do počítače.

## 3 Měření

První měření jsme prováděli na supravodiči YBaCuO<sup>1</sup> [ybakuo], protože ten byl přímo integrovaný v měřící sondě už od výrobce. Měření probíhalo tak, že jsme sondu vložili do kapalného dusíku a počítačem zaznamenávali hodnoty. Sonda je hliníková krabička, ve které je připevněný supravodič tak, aby se nedotýkal stěn. Teplo se přenášelo jen pomalu vzduchem a podložkou na které leží. Kdyby se supravodič vložil do dusíku přímo, tak

---

<sup>1</sup>YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-x</sub>



Obrázek 1: Měřící aparatura s příslušenstvím

by se sice dalo taky něco změřit, protože čistý dusík je nevodivý, ale ochlazení by bylo tak rychlé, že by se nic použitelného nedalo změřit. Po tom, co jsme supravodič ochladili, tak jsme ještě pro kontrolu vyzkoušeli opačný směr, kdy se sonda na vzduchu pomalu ohřívala.

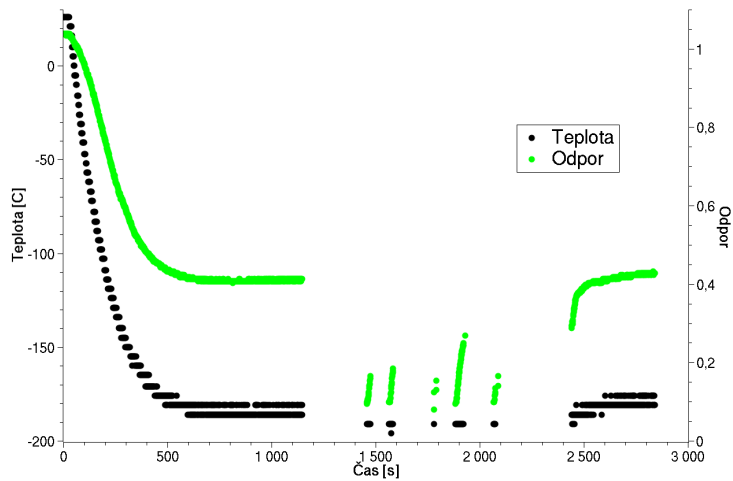
Při druhém měření jsme v sondě vyměnili původní supravodič a místo něj jsme tam vložili supravodič BSCCO<sup>2</sup> [bisko], který měl vyšší přechodovou teplotu (podle výrobce 108K) a mělo by být jednodušší dosáhnout  $T_C$ . S tím jsme provedli stejný postup, s tím rozdílem, že jsme maximálně zesílili výstup z aparatury, protože odpor nového supravodiče byl řádově nižší. Supravodič YBaCuO měl odpor  $5\Omega$  a BSCCO měl podle výrobce  $0,02\Omega$  (my jsme změřili  $0,04\Omega$ ).

## 4 Problémy měření

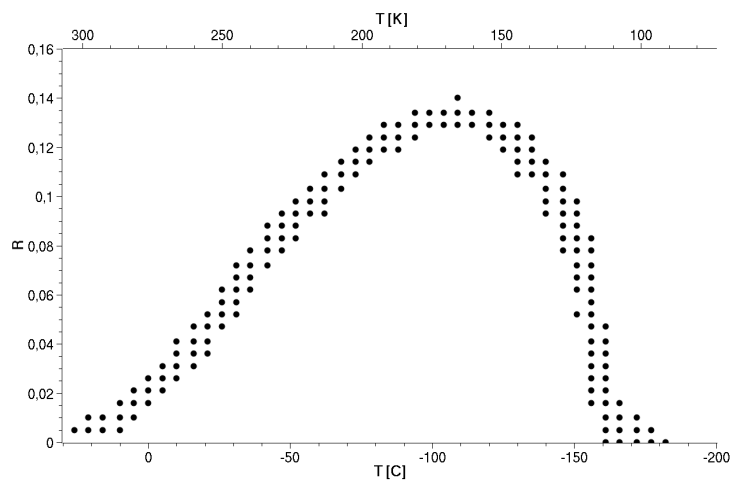
Problémem prvního měření bylo, že se nám nedařilo ochladit supravodič na dostatečně nízkou teplotu, abychom si byli jistí, že už přešel do supravodivého stavu. Překážka byla v tom, že průchodem proudu supravodičem a termistorem se supravodič slabě zahříval, a protože jsme byli téměř na teplotě varu dusíku, tak tento jev zabraňoval přechodu. Proto jsme se pokusili několikrát vypnout měřící aparaturu a zase zapnout, aby měla teplota možnost poklesnout. Na obrázku 2 je vidět, jak i malý rozdíl teploty dokázal výrazně snížit odpor, a naopak krátké zapojení měřící aparatury dokázalo rychle ohřát supravodič. Z našeho měření nám vyšlo, že teplota přechodu je přibližně mezi  $-190^\circ\text{C}$  až  $-195^\circ\text{C}$ .

U druhého měření na supravodiči BSCCO jsme teplotu, při které nastal pokles odporu, určili přibližně na 100K až 110K. Výhodou bylo, že byla vyšší a nebylo ani potřeba vypínat měřící aparaturu. Problém byl, že graf závislosti odporu na teplotě vypadal jinak, než jsme předpokládali (obr. 3). Také jsou v grafu značné rozestupy mezi naměřenými hodnotami, protože digitální převodník nebyl dostatečně přesný.

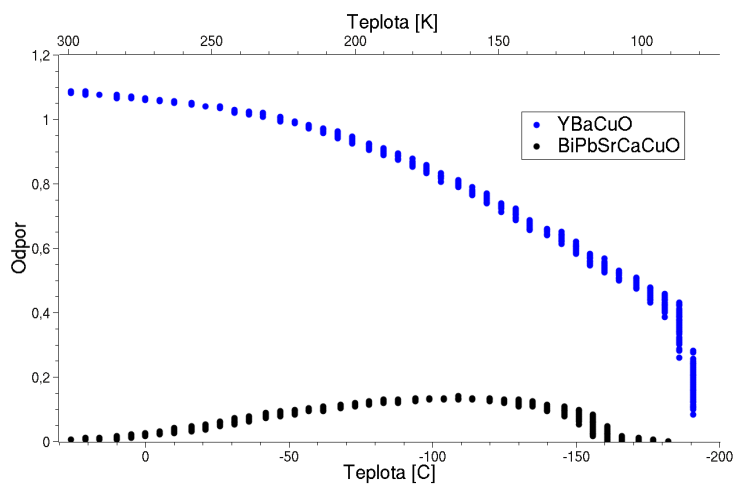
<sup>2</sup> Bi<sub>1,8</sub>Pb<sub>0,2</sub>Sr<sub>2</sub>Ca<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>10+x</sub>



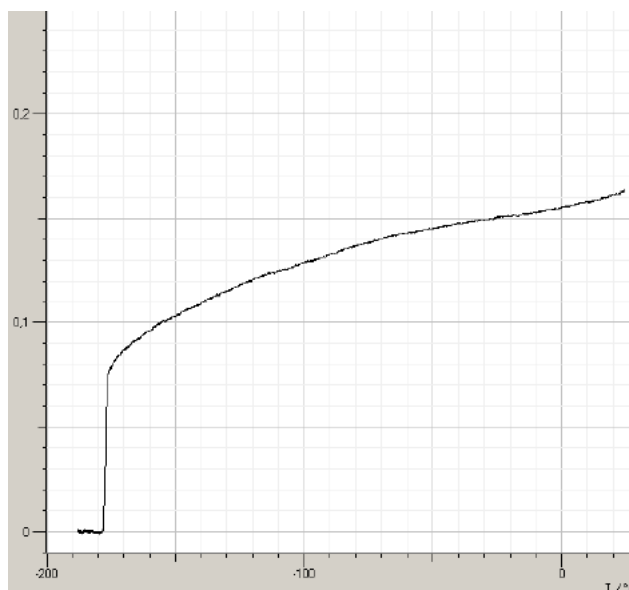
Obrázek 2: Naměřené hodnoty v závislosti na čase, YBaCuO



Obrázek 3: BSCCO - Závislost odporu na teplotě



Obrázek 4: Odpor v závislosti na teplotě pro YBaCuO a BSCCO



Obrázek 5: Hodnoty naměřené výrobcem u supravodiče YBaCuO

## 5 Diskuze

Z naměřených hodnot pro YBaCuO obr. 4 je vidět, že na konci už začal padat odpor k nule. Není tam vidět ta část, kdy by už měl být konstantní (nulový). Je to nejspíše způsobeno tím, že teplota varu dusíku je  $-196^{\circ}\text{C}$  a my jsme měli možnost měřit teplotu pouze s přesností na  $5^{\circ}\text{C}$ . To, že se do supravodivého stavu opravdu dostane, jsme ověřili později pomocí magnetu, který nad supravodičem v kapalném dusíku levitoval. Naměřená závislost celkem odpovídá hodnotám od výrobce [1] (obr. 5), až na to že nám odpor začal klesat o 10 stupňů později. To lze vysvětlit tím, že YBaCuO je citlivé na vlhkost a když je dlouhou dobu ve vlhku, tak se zhoršují jeho vlastnosti [2].

Vysvětlení naměřených hodnot BSCCO je už složitější. První možnost byla, že je to nějaký zvláštní druh polovodiče. To by vysvětlovalo, proč se odpor se snižující teplotou zvyšuje a pak klesá. A opravdu se BSCCO chová jako polovodič, ovšem jenom při teplotách nad  $900^{\circ}\text{C}$  [3]. Navíc nám výrobce potvrdil, že závislost odporu na teplotě tohoto supravodiče, měla vypadat podobně jako u YBaCuO. Při 300 K by měl být elektrický odpor kolem  $0,02\Omega$ , a pak by měl s klesající teplotou klesat po přímce směrem k bodu (0 K,  $0\Omega$ ). Při teplotě kolem 150 K by se měl odpor začít odchylovat od této přímky směrem k nižším hodnotám, při 110 K by měla být odchylka od přímky 50%, při 108 K by měl být odpor nulový.

Nejpravděpodobnější vysvětlení je termoelektrický jev. Supravodič se ochlazoval nerovnoměrně a vytvořil se tam teplotní gradient. Přestože teplotní rozdíl nemohl být moc velký, tak se tam mohlo vytvářet napětí, které by ovlivňovalo naměřené hodnoty. Měřící aparatura měřila odpor pomocí úbytku napětí na zdroji konstantního proudu. Protože byla navíc zesílena na maximální hodnoty, stačilo by napětí v řádech desítek až stovek  $\mu\text{V}$  aby se na měření projevilo. Navíc když jsme potom sondu vytáhli ven na vzduch a měřili závislost při ohřívání, tak byl ten vzestup a pokles napětí mnohem méně výrazný, protože se to na vzduchu ohřívalo pomaleji a teplotní gradient byl menší, než když se to chladilo ponořené v dusíku.

Řešením tohoto problému by bylo provést ještě jedno měření s obrácenou polaritou měřícího proudu tak aby se jev projevil v opačném směru a výsledné hodnoty sečíst tak

aby se odečetla vzniklá chyba. Na druhou stranu, díky Seebeckově jevu jsme byli schopni změřit teplotu přechodu celkem přesně na 110K, protože se supravodivostí vymizel. Pokud tam nebyla ještě jiná chyba, a kdyby se tam ten jev neobjevil, tak by kvůli nepřesnostem měřících přístrojů byla vidět jen vodorovná přímková hodnota odporu, která by někde v půlce přešla do druhé přímkové úrovně níž a ta by zůstala do konce. Takže bychom nebyli schopni hodnotu přechodu ani přibližně odhadnout.

## 6 Závěr

Pro další měření supravodiče YBaCuO by bylo užitečné se ho pokusit důkladně vysušit (vypéct). Tím by se měly obnovit jeho vlastnosti, druhá možnost je upéct si vlastní supravodič z prášku, ale to je velice časově náročné [4] a úspěch není zaručen.

Při měření supravodič BSCCO je potřeba komutovat měřící proud a z naměřených výsledků by pak šel složit graf neovlivněný termoelektrickým napětím. Měření je ale potřeba udělat s předzesilovačem, nebo s citlivějším digitálním převodníkem napětí do počítače. Na převod by šli použít multimetry METEX z praktik, ty by měli asi 5x vyšší přesnost, ale nepodařilo se k nim sehnat ovladače. Další možnost je sehnat nějaký počítač s kvalitní laboratorní kartou, která by měla dosahovat ještě vyšší přesnosti (nejlépe v řádech  $\mu\text{V}$ )

## Reference

- [1] Leybold didactic: *Superconductor, Experiment Kit for Determining the Transition Temperature* Leybold didactic GMBH: 2007
- [2] S. M. Arora, V. H. Desai and K. B. Sundaram: *The effect of processing parameters on the environmental stability of YBaCuO superconductor* Journal of Materials Science
- [3] Oliver Eibl: *United States Patent 5665662* US Patent Issued on September 9, 1997
- [4] Leybold didactic: *Experiment Kit for Producing a Superconductor* Leybold didactic GMBH: 2007