

Supravodivost a levitace

M. Kubů^{*}, R. Bimbová^{**}

Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská, Břehová 7, 115 19 Praha

^{*}kubumiro@fjfi.cvut.cz, ^{**}bimborob@fjfi.cvut.cz

Abstrakt

Cílem našeho projektu bylo seznámit se dopodrobna s jevem zvaným vysokoteplotní supravodivost a se supravodivostí obecně. Kromě teoretického podkladu se náš projekt opírá také o experiment s levitací využívající Meissnerův jev.

1 Teoretický úvod

1.1 Supravodivost

Supravodivost je jev prvně pozorovaný v roce 1911 Kammerlinghem Onnesem, jenž jako první dokázal zkapalnit helium, díky čemuž se mu naskytly nevídané možnosti ve výzkumu vlastností látek při teplotách těsně nad absolutní nulou. Onnes pozoroval, že proud protékající supravodivým vodičem přetrvává i bez externího zdroje po velice dlouhou dobu, tedy že jeho odpor klesá téměř k nulové hranici.

Při dalších pokusech bylo pozorováno, že látky vykazující supravodivé vlastnosti nad určitou teplotou (tzv. kritická teplota) nevykazují ohmický odpor, čímž byl objeven jeden z nejpřekvapivějších fyzikálních jevů vůbec.

1.2 Typy supravodičů

Supravodivost je jev, který lze pozorovat u celé plejády materiálů, a není proto divu, že se jednotlivé prvky v supravodivých vlastnostech poněkud liší, právě z tohoto důvodu se látky vykazující supravodivost obvykle rozdělují do tří skupin dle konkrétních vlastností.

Mezi supravodiče prvního typu se řadí především kovy, jedná se o látky, které v silných magnetických polích náhle ztrácejí supravodivé vlastnosti - supravodivý stav těchto látek je tak podmíněn nejen nízkou teplotou, ale i nízkou hodnotou magnetického pole. Supravodiče prvního typu jsou poměrně dobře popsány tzv. BCS teorií (viz níže).

Mezi supravodiče druhého typu se řadí především slitiny kovů a kompozitních materiálů obsahující měď. Tyto látky vykazují supravodivé vlastnosti i ve velice silných magnetických polích, a nelze je proto zcela spolehlivě popsat BCS teorií.

Poslední skupinou jsou tzv. vysokoteplotní supravodiče. Jedná se o materiály, jejichž supravodivé vlastnosti přetrvávají i při teplotách vysoko nad 23 K, které je schopna popsat BCS teorie.

1.3 Meissnerův jev

V roce 1933 se objevuje první zmínka o Meissnerově jevu. Walther Meissner a Robert Ochsenfeld onoho roku zdůvodnili, proč působení magnetického pole o velké magnetické indukci naruší supravodivý stav. Zjistili totiž, že supravodiče vytlačují ze svého objemu

magnetické pole, tedy že supravodič je ideálním diamagnetikem (kde diamagnetickými látkami označujeme takové látky, které zeslabují magnetické pole a od magnetu se odpuzují). Tím byla vyvrácena jednoduchá představa o supravodiči jen jako vodiči s nulovým elektrickým odporem. Bylo zjištěno, že se supravodivé vlastnosti materiálu vytratí při určitém magnetickém poli o kritické velikosti magnetické indukce (B_c), supravodivost se sama při velké magnetické indukci likviduje. Tím bylo chováním supravodiče přiblíženo, což bylo velmi důležité pro použití supravodičů. Nejenže se musí kontrolovat teplota, kontrolovat se musí i velikost magnetické indukce přítomného magnetického pole.

1.4 Teorie Cooperových párů

Poznatky o supravodivosti byly stále ještě neúplné, scházel aparát, který by supravodivost vysvětlil podrobně. Načež roku 1957 fyzikové J. Bardeen, L. Cooper a J. R. Schrieffer vytvořili mikroskopickou teorii supravodivosti, které zkráceně říkáme BCS teorie.

Všimli si totiž závislosti kritické teploty na izotopu daného prvku, což vedlo k domněnce, že jev není závislý jen na elektronech, ale i na krystalické mřížce (jelikož hmotnost jader ovlivňuje dynamiku krystalické mřížky). Teorie říká, že vazba mezi elektrony a fonony (kvazičástice šířící vibrační kvantum v krystalové mřížce) může vést k párování elektronů (samozřejmě za předpokladu nízkých teplot). Tato interakce je schopna držet dva elektrony pohromadě i přes Coulombovské síly, elektrony však musí mít opačný spin. Takovýmto dvěma spárovaným elektronům říkáme Cooperův pár, řadí se mezi kvantový jev. Navenek se takový pár chová jako boson, tedy přenašeč silové interakce. Vlastností těchto párů je, že není možné, aby se jeden Cooperův pár choval nezávisle na ostatních.

Supravodivost je důsledkem toho, že se Cooperovy páry chovají jako celek, jde o koherenci párů. Tato teorie koresponduje s Meissnerovým jevem, jelikož při vložení supravodiče do magnetického pole o velké magnetické indukci dojde ke změně spinu elektronů tak, aby byly v souhlasném směru magnetických indukčních čar. To vede k rozpadu Cooperových párů, jelikož předpokladem je opačný spin navzájem spárovaných elektronů. Zdá se tedy, že je teorie supravodivosti dobře popsána. Avšak tato teorie popisuje pouze supravodiče prvního typu.

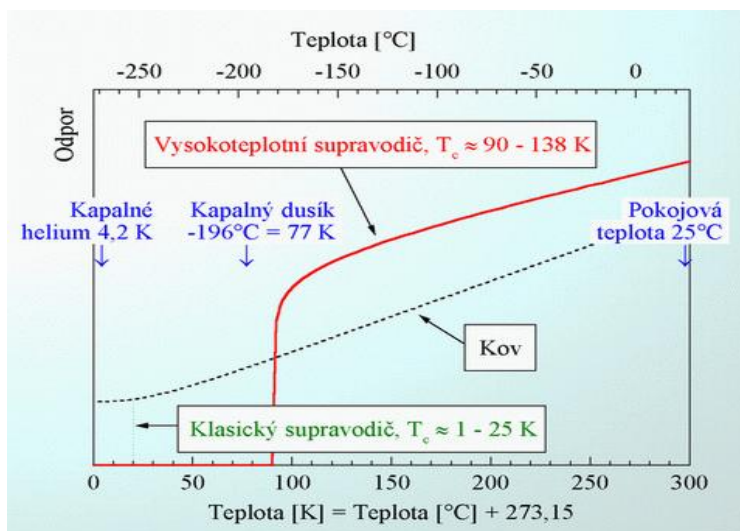
1.5 Vysokoteplotní supravodivost

Dnes zřejmě největší záhadou týkající se supravodivosti je supravodivost vysokoteplotní. Celých 75 let po objevu supravodivosti se totiž mělo za to, že maximální kritická teplota je 23 K, v roce 1986 však Karl Alex Muller pozoroval supravodivost na keramice La_2BaCuO_4 při teplotě 30 K. Zanedlouho poté byla pozorována supravodivost i při teplotách nad 77 K, což je teplota levného a dobře dostupného kapalného dusíku, se kterým jsme mimochodem i my prováděli náš experiment.

Vysokoteplotní supravodivost je stále jednou z největších záhad současné fyziky, jisté je pouze to, že vázání Cooperových párů obecně nezajišťuje elektron fononová interakce, ale jiný kvantový efekt. Všechny vysokoteplotní supravodiče mají jednu společnou vlastnost, kterou jsou výrazné roviny z atomů mědi a kyslíku. Právě v rovinách mědi a kyslíku lze vytvořit přidáním kyslíku v 1-2-3 strukturách vodivost za pomoci děr. Právě na děrové vodivosti stojí například holistická teorie, která se snaží vysokoteplotní supravodivost vysvětlit existencí děr v normálním stavu kovu.

Důležitosti děr v supravodičích nahrává i pozorování Johna Tranquada v Brookhavenské laboratoři, který pozoroval neobvyklé párování proužků antiferomagnetických iontů mědi s proužky děr v rovinách Cu-O. Přestože vysokoteplotní supravodivost stále není rigorózně

vysvětlená, vědci se vesměs shodují na tom, že Cooperovo párování nezajišťuje elektron fononová interakce, jak se dříve domnívalo, ale interakce elektronů s excitacemi spinových antiiferomagnetických struktur.

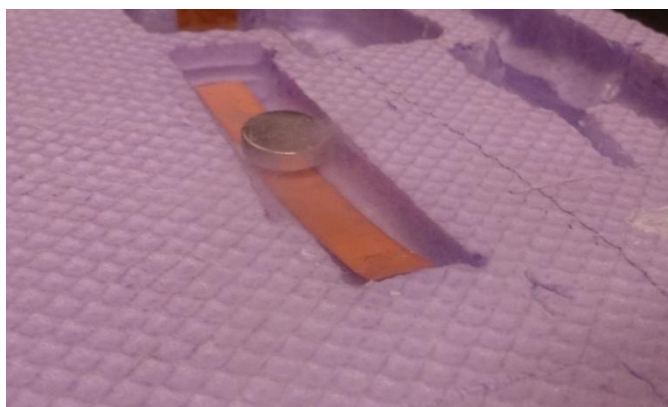


Obr.1 - Závislost odporu na teplotě vysokoteplotního supravodiče [7]

2 Experiment

Cílem našeho experimentu bylo provést levitaci supravodiče podchlazeného tekutým dusíkem nad neodýmými magnety, následně provést experiment opačně, tedy pokusit se o levitaci neodýmového magnetu nad podchlazeným supravodičem, a porovnávat technické detaily obou procedur. Pro náš pokus jsme použili sadu neodýmových magnetů, supravodivou pásku na bázi YBaCuO, izolační desku a v neposlední řadě také tekutý dusík.

Do izolace jsme tepelnou metodou vytvořili drážku pro tekutý dusík, do které jsme později umístili supravodič k chlazení. Prvně jsme zkoušeli levitaci neodýmového magnetu nad ochlazeným supravodičem, přičemž se nám i přes špatnou stabilitu neodýmového magnetu podařilo dosáhnout levitace. Následoval tedy pokus v opačném gardu, kdy jsme testovali levitaci supravodiče nad neodýmými magnety. Zde bylo dosaženo mnohem lepších výsledků, co se týče stability při levitaci, problémem se nicméně stalo to, že jsme nebyli schopni dlouhodobě udržet supravodič pod kritickou teplotou, a levitace byla proto patrná jen po velice krátký okamžik.



Obr. 2 – Magnet levitující nad ochlazeným supravodičem

Reference

- [1] Petr Kulháněk, Supravodivost, <http://aldebaran.cz/bulletin/2015>
- [2] M. Turenne , R. P. Johnson, Characterization of rebco coated conductors for high field magnets, <http://teachers.web.cern.ch/teachers/archiv/HST2001/accelerators/>
- [3] F. Marsiglio, Hole Superconductivity, <http://physics.ucsd.edu/~jorge/hole.html>
- [4] Glennda Chui, High temperature Superdonductivity, <https://www6.slac.stanford.edu/news/2014-04-24-scientists-watch-high-temperature-superconductivity-emerge-out-magnetism.aspx>
- [5] R. Nabe, Mercury Superdonducting Transition, <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/solids/scex.html>
- [6] Kolektiv autorů, Superconductors, <http://www.coolmagnetman.com/magsuper.htm>
- [7] K. Knížek - Fyzikální ústav AV ČR, <http://www.fzu.cz/popularizace/supravodivost-a-levitace>