

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

N. V. Zavarickij
Supravodivost

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie, Vol. 1 (1956), No. 5-6, 601--602,603--609

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/137369>

Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 1956

Institute of Mathematics of the Academy of Sciences of the Czech Republic provides access to digitized documents strictly for personal use. Each copy of any part of this document must contain these *Terms of use*.



This paper has been digitized, optimized for electronic delivery and stamped with digital signature within the project *DML-CZ: The Czech Digital Mathematics Library* <http://project.dml.cz>

Základem každého kanálového selektoru je spoušť, to jest impulsní zařízení s dvěma stabilními rovnovážnými stavy. Spoušť prvního kanálu se uvádí v činnost synchronizačním impulsem a zastavuje se v okamžiku příchodu prvního měřicího impulsu z výstupu přijímače. Další impulsy na spoušť nepůsobí, protože přicházejí již po otevřené elektronce.

Na výstupu selektoru prvního kanálu dostaneme impulsy, jejichž délka je úměrná hodnotě měřené veličiny.

Synchronizačním impulsem spouště druhého kanálu je krátkodobý impuls, vznikající v okamžiku ukončení výstupního impulsu selektoru prvního kanálu. Na výstupu druhého kanálu se proto objeví impuls, jehož délka je úměrná měřené veličině druhého kanálu. Selektce měřicích impulsů ostatních kanálů se provádí podobně.

V měřicím zařízení každého kanálu se také odděluje stejnosměrná složka napětí impulsů, která je rovněž úměrná hodnotě měřené veličiny. Stejnosměrná složka se měří ručkovými přístroji.

Radiotelemetrie se neustále rozvíjí, zdokonaluje a nachází stále nové oblasti praktického použití. Zdokonalení radiotelemetrických soustav povede jistě k dalšímu rozšíření radiotelemetrických method do různých odvětví národního hospodářství.

(Podle článku M. Maximova a J. Šumichina, *Radiotelemetrija*, Radio, 1956, č. 3.)

Marta Kubíková

SUPRAVODIVOST

Roku 1908 se podařilo Kammerlingu Onnesovi po prvé získat malé množství kapalného helia ve formě bezbarvé tekutiny. Helium kapalné za atmosférického tlaku při $4,2^{\circ}$ K. Snížili-li se tlak par nad kapalinou odčerpáváním, je možno dosáhnout dokonce teploty 1° K. Tento objev umožnil zkoumat vlastnosti látek při teplotách v těsné blízkosti absolutní nuly.

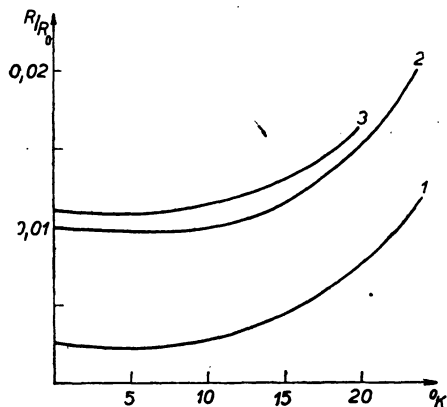
Kromě jiných problémů se Onnes zabýval též výzkumem elektrického odporu kovů. V této otázce nebylo v té době ještě uspokojivých výsledků. První Onnesovy pokusy se zlatem a platinou ukázaly, že při teplotách blízkých absolutní nule nenastává nic mimořádného. Elektrický odpor se v mezích od $4,2$ do 2° K s teplotou téměř neměnil (*obr. 1*). Tento tak zvaný zbytkový odpor závisel na čistotě vzorku. Čím více obsahoval vzorek příměsí, tím vyšší byl zbytkový odpor. Zdálo se, že pokud je možno získat nějaké zajímavé výsledky, tedy jen při pokusech s naprosto čistými kovy. Největší čistoty bylo možno v té době dosáhnout u rtuti. Proto začal Onnes provádět pokusy s čistou rtutí.

Již první pokus vedl k nečekanému výsledku. Při ochlazení vzorku pod $4,2^{\circ}$ K ztratil tento náhle elektrický odpor (*obr. 2*). Tento jev nastával i u znečištěného rtuťového vzorku. Kammerling Onnes nazval stav kovu, při němž je elektrický odpor roven nule, supravodivým.

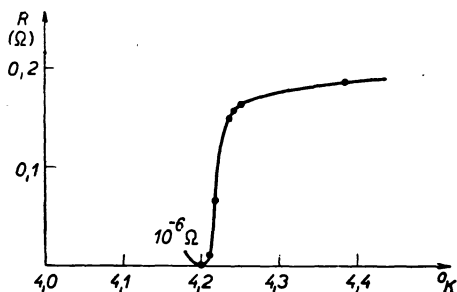
Posléze byla objevena supravodivost olova, cínu a thalia (*obr. 3*). U všech těchto kovů nastával supravodivý stav skokem při určité teplotě, charakteristické pro daný kov. Je to tak zvaná kritická teplota. Na př. kritická teplota olova je $7,22^{\circ}$ K, cínu $3,73^{\circ}$ K, thalia $2,38^{\circ}$ K.

Zůstávalo zatím nejasné, zda je odpor kovu v supravodivém stavu skutečně nulový,

nebo zda má nějakou velmi malou hodnotu, k jejímuž změření nestačí citlivost měřicích přístrojů. Proto byly konány pokusy s cílem objevit stopy elektrického odporu u supra-
 vodiče. Používalo se vzorků o velkém odporu. Onnes použil na př. rtuového vzorku
 o průměru 50μ a délce přes 20 cm. Avšak ani u takového vzorku nebylo možno v supra-
 vodivém stavu zjistit elektrický odpor. Obvyklé měřicí metody byly pro tento účel
 málo přesné. Bylo nutno nalézt nějaký nový způsob měření elektrického odporu pro
 vyřešení tohoto problému.



Obr. 1. Změna odporu zlata.
 (Křivka 1 — 0,005% příměsí, křivka 2 —
 0,015% příměsí) a platiny (křivka 3) při teplotách
 blízkých absolutní nule. R/R_0 je poměr
 odporu vzorku k jeho odporu při 0°C .



Obr. 2. Odpor rtuti při teplotách blízkých 4°K
 (podle Kammerlinga Onnese).

Kammerling Onnes rozřešil tento úkol použitím metody supravodivého prstence. Mění-li se magnetický tok, procházející kovovým prstencem, indukuje se v prstenci elektrický proud. V obyčejném kovu vlivem elektrického odporu tento proud brzy zanikne. Na př. v drátěném prstenci o průměru 1 cm se proud zmenší za zlomek vteřiny na desetinu původní velikosti. Onnes provedl pokus s olověným prstencem zavěšeným na tenké niti v nádobě s tekutým heliem. Při změně vnějšího magnetického pole vznikl v prstenci elektrický proud. Následkem vzájemného působení elektrického proudu a magnetického pole se prstenec natáčel. Z úhlu pootočení prstence bylo možno zjistit, zda se mění velikost indukovaného proudu. Bylo zjištěno, že dokud bylo v nádobě tekuté helium, proud v prstenci se nezmenšoval. To znamená, že elektrický odpor prstence je roven nule.

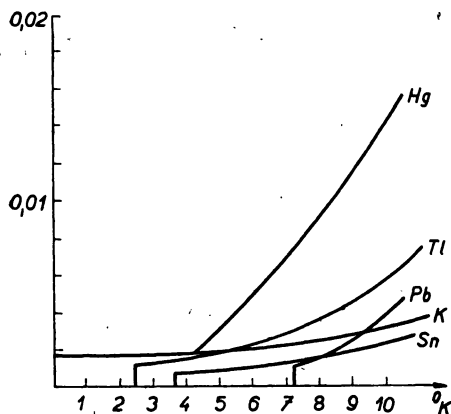
Pokus byl několikrát opakován. Pro větší odpor bylo použito jako vzorku tenké destičky, ale ani během desítek hodin nebylo pozorováno zmenšení proudu. Tak byla dokázána základní vlastnost supravodičů — nulový elektrický stejnosměrný odpor.

Na základě těchto pokusů vyslovil Onnes domněnku, že všechny kovy se při teplotách blízkých absolutní nule stávají supravodiči. Během výzkumů, které pokračují i dnes, bylo zjištěno 23 kovů, které přecházejí do supravodivého stavu v širokém rozmezí kritických teplot — od $0,35^\circ \text{K}$ do $11,3^\circ \text{K}$. Avšak u řady kovů, třebaže bylo jejich chování sledováno při teplotách několika setin stupně Kelvínova, nebyla supravodivost pozorována. Onnesova domněnka byla tedy nesprávná.

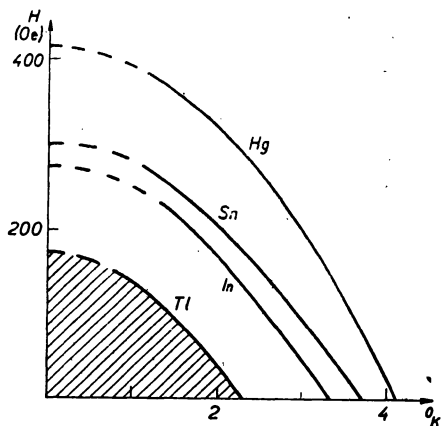
Bylo zjištěno, že supravodivost se nevyskytuje jen u čistých kovů, ale také u mnoha chemických sloučenin a slitin. Zajímavé je, že často ani jedna ze složek supravodivé

sloučeniny není sama supravodičem. Tak tomu je v případě CoSi₂ a CuS. V poslední době byly objeveny sloučeniny s velmi vysokou kritickou teplotou, na př. V₃Si přichází do supravodivého stavu při 17° K, Nb₃Su při 18° K.

Ačkoli byla supravodivost zjištěna již u více než sta čistých kovů a sloučenin, nebylo dosud stanoveno kritérium supravodivosti. Supravodivost není spojena s určitou krystalickou strukturou — mezi supravodiči se vyskytují prakticky všechny struktury. Je však nesporné, že struktura látky má v otázce supravodivosti důležitou úlohu. Na př. zatím



Obr. 3. Závislost odporu různých kovů na teplotě v okolí absolutní nuly.



Obr. 4. Závislost kritické intenzity magnetického pole (H_k) na teplotě pro některé supravodiče.

co bílý cín je supravodivý, šedý cín supravodivý není. U vizmutu se supravodivost vyskytuje pouze v modifikaci, která se získá při tlaku přes 20 000 at nebo kondensací vizmutových par při velmi nízkých teplotách. V některých případech vede změna modifikace látky k změně kritické teploty.

Zatím jediným společným znakem supravodičů je, že v periodické soustavě prvků jsou v souvislých skupinách (viz tabulku). Prvky, tvořící složky supravodivých chemických sloučenin, zaujímají v periodické soustavě místa po obou stranách skupin supravodičů. Tento znak má však zatím čistě empirický charakter.

Na první pohled se zdá, že nulový odpor supravodičů poskytuje dalekosáhlé možnosti jejich použití. Na př. supravodivým kabelem by bylo možno přenášet libovolně velký proud bez ztrát energie. Kdybychom z takového kabelu navinuli cívku, mohli bychom získat obrovské magnetické pole. Avšak pokusy o uskutečnění těchto projektů ukázaly jejich nereálnost, zároveň však vedly k objevu dalších vlastností supravodičů. Ukázalo se, že elektrický odpor supravodiče je nulový jen pokud proud tekoucí vzorkem není příliš velký. Při určité velikosti proudu se začne projevovat elektrický odpor vzorku a supravodivost mizí. Tento jev byl vysvětlen působením vnějšího magnetického pole. Umístíme-li dlouhý supravodivý drát v magnetickém poli tak, aby osa drátu souhlasila se směrem pole, pak při určité velikosti magnetického pole vzniká v supravodiči skokem elektrický odpor. Příslušná intenzita magnetického pole je nazývána kritickou. Kritická intenzita magnetického pole závisí na teplotě (obr. 4). Tato závislost je vyjádřena empirickým vzorcem

$$H_k = H_0 \left[1 - \left(\frac{T}{T_k} \right)^2 \right].$$

H																				He
Li	Be																		F	Ne
Na	Mq																	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti 0,37	V 5,1	Cr	Ma	Fe	Co	Ni	Cu	Zn 0,91	Ga 1,10	Ge	As	Se	Br	Kr			
Rb	Sr	Y	Zr 0,71	Nb 8	Mo	Tc 11,2	Ru 0,47	Rh	Pd	Ag	Cd 0,56	In 3,37	Sn 3,73	Sb	Te	J	Xn			
Cs	Ba	lantani- nidy	Hf 0,35	Ta 4,4	W	Re 2,42	Os 0,71	Ir	Pt	Au	Hg 4,15	Tl 2,38	Pb 7,22	Bi 6-7	Po	At	Rn			
Fr	Ra	akti- nidy																		
lantanidy		La 5,4	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu				
aktinidy		Ac	Th 1,39	Pa	U 0,8	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	E	Fm	Mv						

Supravodivé v periodické soustavě prvků. Značky supravodivých prvků jsou silně orámovány; čísla pod značkami prvků jsou teploty, při nichž dochází k přechodu v supravodivý stav.

Veličiny H_0 a T_k jsou charakteristické hodnoty daného supravodiče. Kov může být v supravodivém stavu pouze v magnetickém poli o intenzitě menší než kritické. (Pro thalium je tato oblast na (obr. 4) šrafována.) Při intenzitě větší než H_k přechází kov do normálního stavu.

Povaha působení proudu a magnetického pole na supravodivost je táž a řídí se tak zvaným pravidlem Silsbeeho, podle něhož intenzita magnetického pole, vznikajícího na povrchu vzorku účinkem kritického proudu, je rovna kritické intenzitě vnějšího magnetického pole. Četné pokusy potvrdily platnost tohoto pravidla pro čisté kovy. Avšak u slitin je problém značně složitější, protože u nich není přímé souvislosti mezi kritickým proudem a kritickou intenzitou magnetického pole.

Umístíme-li vzorek ideálního vodiče do magnetického pole a měníme-li intenzitu magnetického pole, začíná povrchovou vrstvou procházet elektrický proud. Intenzita

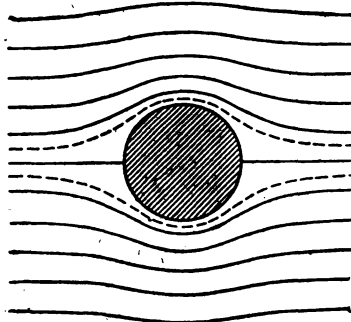
a směr proudu budou takové, aby se neměnil magnetický tok průřezem vzorku. Protože vzorek má nulový elektrický odpor, nebude elektrický proud zanikat. Je-li tedy na počátku uvnitř vzorku intenzita magnetického pole nulová, zůstane nulovou i při jakýchkoli změnách vnějšího magnetického pole, pokud jeho intenzita bude menší než kritická. Při kritické intenzitě vnějšího magnetického pole se objeví elektrický odpor, indukovaný proud zanikne a skončí omezením vnějšího magnetického pole. Uvnitř vzorku vznikne magnetické pole o téže intenzitě, jakou má vnější pole. Zmenšuje-li se nyní intenzita vnějšího magnetického pole, vzniká ve vzorku elektrický proud opačného směru než původně a vzorek nabude magnetických vlastností. Uvnitř vzorku zůstane „zmrazené“ magnetické pole o intenzitě, při níž zmizel elektrický odpor vodiče.

Dvacet let se vědci domnívali, že stejně jako ideální vodič se chová i supravodič. Avšak v r. 1933 se Meissner a Oxenfeld v Leydeu a L. V. Šubnikov s J. N. Rjabinin v Charkově pokusili změnit intenzitu „zmrazeného“ magnetického pole a zjistili, že sotva vzorek přejde do supravodivého stavu, pole uvnitř něho úplně zmizí. Magnetické siločivky obtékají povrch supravodivého vzorku (obr. 5). Tento jev, odlišující supravodič od ideálního vodiče byl nazván Meissnerovým efektem.

Jednou z nejlepších demonstrací Meissnerova efektu je pokus s tak zvaným létajícím magnetem, který byl proveden V. K. Arkadjevem. Hodíme-li malý permanentní magnet do nádoby zhotovené ze supravodiče, magnet nedopadne na dno, nýbrž bude se vznášet ve vzduchu (obr. 6). Příčinou toho je, že magnet „leží“ na siločivkách obtékajících povrch supravodiče.

Objev Meissnerova efektu ukázal, že supravodičem mohou téci pouze povrchové elektrické proudy, protože jen v tomto případě může být magnetické pole uvnitř supravodiče nulové. To platí jak pro proudy indukované vnějším magnetickým polem, tak pro proudy dodávané vnějším zdrojem. Intenzita magnetického pole povrchového elektrického proudu je určena proudovou hustotou a v soulase s tím nastává přechod ze supravodivého stavu do normálního, jakmile povrchová hustota proudu je rovna kritické, odpovídající magnetickému poli o intenzitě H_k .

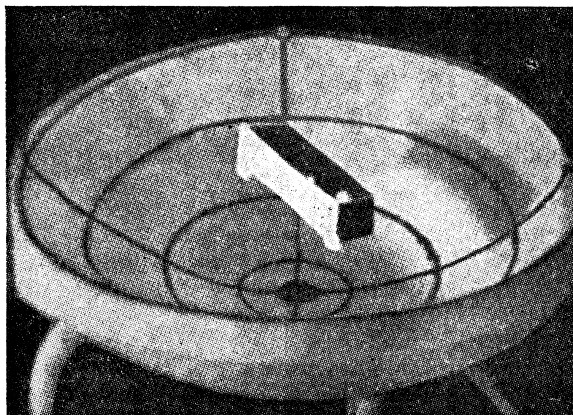
Důsledkem toho, že magnetické siločivky obtékají supravodič (obr. 5), je různá intenzita magnetického pole na různých místech povrchu vzorku. Rozdíly jsou tím větší,



Obr. 5. Supravodivá koule v magnetickém poli. Intenzita pole je úměrná hustotě siločar.

čím více jsou silokřivky, obtékající povrch vzorku, zakřiveny. Proto při zvětšení vnějšího magnetického pole dosáhne jeho intenzita kritické hodnoty pouze v několika bodech povrchu. Vzorek není úplně ani v supravodivém, ani v normálním stavu. Tento mezistav neexistuje u vzorků, jejichž rozměr podél magnetického pole převládá, na př. u dlouhých válců rovnoběžných se směrem magnetického pole.

Charakter struktury v mezistavu byl nejdříve předpověděn theoreticky. L. D. Landau



Obr. 6. Létající magnet (podle D. Šenberga).

předpokládal, že vzorek se v mezistavu skládá ze střídajících se vrstev normální a supravodivé fáze o rozměrech řádu 0,1 mm. Směrem k povrchu jsou vrstvy stále slabší, až těsně u povrchu vzorku vzniká tak zvaný „smíšený stav“, v němž nelze jednotlivé vrstvy odlišit.

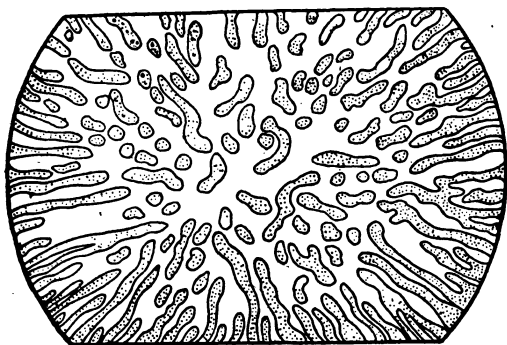
A. I. Šalnikov předpokládal, že udělá-li se v supravodivém tělese, na př. v kouli, velmi úzká štěrbiná, nezmění se obraz rozvrstvení vzorku. Měřením magnetického pole ve štěrbině bylo by pak možno dokázat jeho nehomogenost. Tento pokus byl úspěšně proveden a potvrdil předpokládanou nehomogenitu magnetického pole. A. I. Šalnikov a A. G. Meškovskij provedli též podrobná měření rozdělení pole ve štěrbině koule pomocí pohyblivého mikroměřidla.

Jako měřidla bylo použito vizmutového drátu, jehož elektrický odpor je silně závislý na intenzitě magnetického pole. Drát měl průměr menší než $10\ \mu$ a délku asi $100\ \mu$. Měřidlo připevněné na slídovou destičku se pohybovalo ve štěrbině užší než $100\ \mu$.

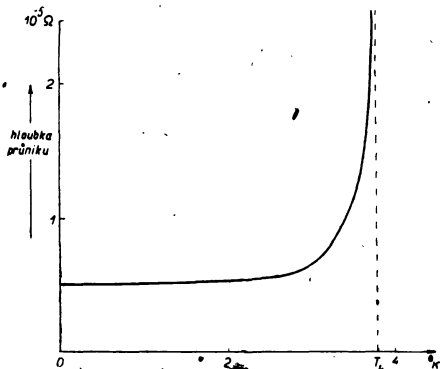
Měření dokázalo, že v mezistavu existují skutečně normální i supravodivé oblasti. V normálních oblastech je intenzita magnetického pole rovna H_k , v supravodivých je rovna nule. Podařilo se také sestavit topografickou mapu rozdělení vrstev normální a supravodivé fáze uvnitř koule (obr. 7). Ukázalo se, že je možno pozorovat vrstvy i na vnějším povrchu koule. Naskytly se nové možnosti výzkumu struktury mezistavu na povrchu vzorků.

Magnetické vlastnosti supravodičů jsou spojeny s nezanikajícími elektrickými proudy v povrchové vrstvě. Rozdělení těchto proudů souvisí se zákonem průniku vnějšího magnetického pole do vzorku. Protéká-li proud vrstvou o tloušťce δ , musí do této hloubky pronikat i vnější magnetické pole. O hodnotu δ se tedy zmenší objem, v němž je intenzita magnetického pole nulová. Toto zmenšení je možno zjistit, a to tím snáze, čím jsou menší rozměry zkoumaného vzorku.

D. Šenberg zkoumal magnetické vlastnosti rtuťových částic o rozměrech 10^{-5} až 10^{-6} cm. Magnetický moment těchto částic je 100krát menší než kdyby vnější magnetické pole nepronikalo do kovu. Magnetické pole úplně pronikalo malými rtuťovými kuličkami, jejichž rozměr je menší než hloubka průniku. Kromě toho se ukázalo, že magnetické vlastnosti kovu jsou silně závislé na teplotě. To znamená, že hloubka průniku δ se mění s teplotou.



Obr. 7. Topografická mapa magnetického pole v kovové kouli v mezistavu. V šrafováných oblastech je intenzita pole různá od nuly.



Obr. 8. Hloubka průniku magnetického pole do cínu.

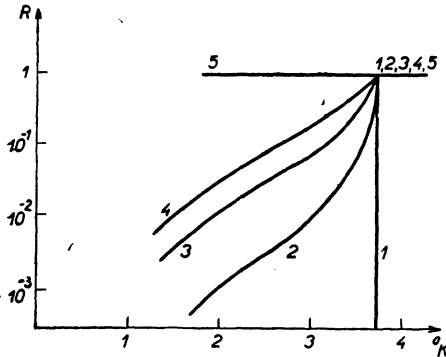
Pokusy s tak malými vzorky vyvolávají však jisté pochybnosti. Proto bylo nutno zjistit hloubku průniku i u velkých vzorků. Je zřejmé, že nelze změřit magnetické vlastnosti vzorku o rozměrech několika centimetrů s takovou přesností, aby bylo možno zjistit hloubku průniku. Značně snazší je zjišťovat změny magnetických vlastností vzorku, vyvolané závislostí na teplotě. Ačkoli se pokusy v tomto směru setkaly s mnohým nepřijemným překvapením, přece byly nakonec korunovány úspěchem. Nyní je známa hloubka průniku u řady látek. Na př. hloubka průniku olova při teplotě dosti odlišné od kritické je rovna $5,10^{-6}$ cm a rychle se zvětšuje při přiblížení ke kritické teplotě (obr. 8). Bylo tedy dokázáno, že magnetické vlastnosti supravodičů jsou určeny proudy, tekoucími ve vrstvách mikroskopických rozměrů řádu 10^{-5} cm.

Hloubka průniku je jednou z veličin, charakterisujících rozměry supravodičů. Supravodič malých rozměrů je takový, jehož rozměry jsou stejné nebo menší než hloubka průniku. Jsou to na př. Šenbergovy koloidy. Magnetické vlastnosti tak malých vzorků se výrazně liší od vzorků velkých rozměrů.

Nulový elektrický odpor supravodiče umožňuje určité části elektronů pohyb bez odporu. S těmito „supravodivými“ elektrony souvisí Meissnerův efekt a hloubka průniku magnetického pole. Čím více je „supravodivých“ elektronů, tím menší je hloubka průniku. Podle toho je možno na základě známé závislosti hloubky průniku na teplotě určit, jak se mění počet supravodivých elektronů v supravodiči. Nekonečné zvětšení hloubky průniku (při přiblížení ke kritické teplotě) ukazuje, že při kritické teplotě „supravodivé“ elektrony úplně mizí.

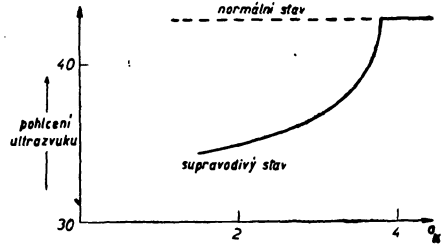
Dalším problémem je zjištění „normálních“ elektronů v supravodiči. Měřením odporu to nelze provést, protože „supravodivé“ elektrony úplně zamezují působení elektrického pole na „normální“ elektrony. Aby bylo možno pozorovat „normální“ elektrony, je nutno použít při měření odporu tak vysoké frekvence, aby zákony pohybu elektronů byly určeny nejen odporem, ale i setrvačností. V tomto případě bude elektrické pole působit i na „normální“ elektrony, pokud v supravodiči existují. Pokusy dokázat tímto způsobem

existenci „normálních“ elektronů v supravodiči byly dlouho bezúspěšné, až r. 1940 se Londonovi podařilo při frekvenci 10^9 Hz zjistit slabý odpor olova při teplotě nižší než kritické. Měření se provádí i dnes a stále při vyšších frekvencích. Bylo zjištěno, že elektrický odpor pro vysokofrekvenční proudy při kritické teplotě nemizí, ale postupně se zmenšuje, a to tím plynuleji, čím je frekvence vyšší (obr. 9).



Obr. 9. Závislost odporu cínu na teplotě pro proudy různé frekvence.

1 — stejnosměrný proud; 2 — frekvence $1,2 \cdot 10^9$ Hz; 3 — $9,4 \cdot 10^9$ Hz; 4 — $3,6 \cdot 10^{10}$ Hz; 5 — $2 \cdot 10^{13}$ Hz. Jednotkou je odpor cínu při teplotě $4,2^\circ$ K.



Obr. 10. Pohlcení ultrazvuku v cínu.

Výsledky těchto pokusů dokazují, že v supravodiči kromě „supravodivých“ elektronů jsou i elektrony, jejichž pohyb vodičem je provázen vývinem tepla. Počet „normálních“ elektronů se zmenšuje při snížení teploty, jak je zřejmé ze závislosti vysokofrekvenčního odporu na teplotě.

Existuje však i jiná metoda pro zjištění existence „normálních“ elektronů v supravodiči. Obvykle se při měření zjišťuje teplo, vznikající při pohybu elektronů vodičem. Představme si opačný pochod, že totiž krystalická mřížka se uvede do pohybu vzhledem k elektronům, na př. pomocí ultrazvuku. Následkem „tření“ mezi mřížkou a „normálními“ elektrony vzniká rovněž teplo. Jsou-li výsledky pokusů s vysokou frekvencí správné, pak při přechodu kovu z normálního do supravodivého stavu se následkem zmenšení počtu „normálních“ elektronů musí zmenšovat tlumení zvuku, a to tím více, čím je teplota nižší. Tento jev byl dokázán Bömmelem v r. 1954 (obr. 10).

S počtem „normálních“ elektronů v supravodiči souvisí též závislost tepelné vodivosti supravodiče na teplotě. V čistých kovech jsou elektrony vedoucí elektrický proud zároveň nosiči tepla. Proto zmenšení jejich počtu při přechodu kovu do supravodivého stavu vede k zmenšení tepelné vodivosti kovu. Závislost tepelné vodivosti na teplotě dále ukazuje, že při teplotách řádu 0,1 „normální“ elektrony prakticky úplně mizí. Tepelná vodivost při tak nízkých teplotách je určena přenosem tepla mřížkou podobně jako u nekovů. Výsledky různých pokusů tedy ukazují, že v supravodiči při teplotách vyšších než absolutní nula jsou vedle „supravodivých“ elektronů i „normální“ elektrony.

Zbývá otázka, jsou-li v supravodiči ještě elektrony v nějakém jiném stavu. Aby bylo možno odpovědět na tuto otázku, je nutno srovnat počet „supravodivých“ elektronů v kovu při teplotě rovné absolutní nule (kdy počet „normálních“ elektronů je roven nule) s celkovým počtem elektronů v kovu vedoucích proud. Počet „supravodivých“ elektronů lze určit podle hloubky průniku magnetického pole, počet elektronů vedoucích

proud je možno určit z optických charakteristik kovu. Výsledek srovnání je neočekávaný — počet „supravodivých“ elektronů je mnohem menší než elektronů vedoucích proud. Není dosud zodpovězena otázka zda příčinou tak velkého rozdílu je existence jiných elektronů nebo chyba měření.

Nevyjasněna zůstává základní otázka, co je příčinou supravodivosti některých kovů. Zdálo se podivné, že kromě jevů bezprostředně spojených s přítomností „supravodivých“ elektronů nepodléhá kov žádné změně. Obraz difrakce roentgenových paprsků je stejný při teplotách nad i podkritických, což dokazuje, že se krystalická mřížka nemění. Při přechodu do supravodivého stavu se nemění absorpce pomalých a rychlých elektronů, rozptyl neutronů a fotoelektrické vlastnosti. Byly konány pokusy o zhotovení tak tenké v kovové destičky, která by neměla schopnost přejít do supravodivého stavu. Ukázalo se však, že i kovová destička, tvořená jen 3—4 atomovými vrstvami, může přejít do supravodivého stavu. Bylo zjištěno, že kritická teplota a kritická intenzita magnetického pole se mění při silném stlačení vzorku. Toto vše však nedávalo odpověď na otázku, je-li příčinou supravodivosti jen vzájemné působení elektronů nebo uplatňuje-li se i vzájemné, působení mezi elektrony a mřížkou.

Srovnáním supravodivých isotopů bylo zjištěno, že jejich kritické teploty jsou různé. Kromě toho se ukázalo, že u všech je táž závislost mezi kritickou teplotou a isotopickou vahou vzorku, vyjádřená vztahem $M^3 T_k = \text{konst.}$ To bylo důkazem, že při řešení problému supravodivosti je nutno uvažovat i vzájemné působení mezi elektrony a mřížkou.

Výzkum supravodivosti dále pokračuje a stále jsou objevovány nové dosud neznámé stránky tohoto jevu. Není dosud vyřešeno mnoho problémů — není jasné, jaké vzájemné působení mezi elektrony a mřížkou je příčinou supravodivosti, není úplná mikroskopická teorie supravodivosti, není známo, proč jen některé kovy jsou supravodivé. Výzkumné práce se konají současně v mnoha zemích a stále je možno očekávat nové zajímavé objevy.

Zpracováno podle článku N. V. Zavarickij, *Sverchprovodimost, Priroda*, 1956, č. 3.

Další literatura: D. Šenberg, *Sverchprovodimost*,
Petržilka-Šafrata, *Elektrina a magnetismus*.

Marta Kubíková