

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

Izák M. Chalatnikov

Vysokoteplotní supravodivost

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie, Vol. 22 (1977), No. 3, 136--139

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/138220>

Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 1977

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>

Vysokoteplotní supravodivost*)

I. M. Chalatinov, Moskva**)

Otázka: V současné době se úsilí teoretiků i experimentátorů zaměřuje na studium vysokoteplotní supravodivosti. V tematice vašeho ústavu zaujímá zkoumání této otázky značnou část. Zejména jde o problém důležitý pro fyziku i techniku – nalezení podmínek, při nichž by přechod do supravodivého stavu proběhl při teplotách podstatně vyšších než dosud, tj. nad teplotou 20 K. Jaký je současný stav tohoto problému?

Odpověď: Jak se zdá, je problém supravodivosti při vysokých teplotách spojen s tak zvanými jednorozměrnými supravodivými systémy.

Především bych chtěl vysvětlit, co to jsou jednorozměrné supravodiče. Existují organické sloučeniny tvořené dlouhými řetězci, které mají v principu kovovou vodivost. Je velmi obtížné pracovat s jednotlivými řetězci organických molekul. Existují však i jiné látky, velmi podobné látkám jednorozměrným. Molekuly jsou v nich uspořádány do vláken probíhajících v jednom směru, jež si můžeme představit např. jako tuhy ve svazku tužek, kde každá tuha je tvořena řadou molekul, jež jsou v těsné blízkosti. Je možno říci, že takový trojrozměrný krystal obsahuje jednorozměrnou strukturu, neboť elektrická vodivost v jednom směru je tisíckrát větší než ve směrech kolmých. Příroda sama nám tedy připravila vhodné jednorozměrné struktury. Naším úkolem je podrobně je prozkoumat a najít způsob, jak jich využít k vytvoření vysokoteplotních supravodičů.

Otázka: Jakým způsobem lze v jednorozměrných strukturách zvýšit teplotu supravodivého přechodu?

Odpověď: Než odpovím na tuto otázku, chtěl bych připomenout některé pojmy teorie supravodivosti. Abychom mohli definovat kritickou teplotu přechodu do supravodivého stavu, je nezbytné objasnit, jak elektrony na sebe navzájem působí. V normálních kovech se vzájemné působení uskutečňuje hlavně prostřednictvím tepelných kmitů atomové mřížky. Pro každou látku existuje charakteristická teplota (tak zvaná Debyeova teplota) – u kovů bývá kolem 100 K – pod níž je toto vzájemné působení podstatné. Teorie ukazuje, že teplota supravodivého přechodu je několikrát menší než teplota Debyeova; obvykle leží asi při 10–20 K. Naproti tomu u jednorozměrné struktury je možný mechanismus vzájemného působení mezi elektrony, spojený s vybuzením příčných řetězců v molekulách, jehož charakteristická teplota dosahuje ne 100 ale 10 000 K. Proto je možné očekávat, že i teplota supravodivého přechodu, i když podstatně nižší než 10 000 K, by mohla být blízká pokojové teplotě.

*) Přeloženo z časopisu *Příroda* 1975 č. 10 se souhlasem redakce. Překlad pořídil KAREL MÍŠEK.

**) IZÁK MARKOVIČ CHALATNIKOV je ředitelem Ústavu teoretické fyziky L. D. Landau Akademie věd SSSR. Pracuje v různých oblastech teoretické fyziky, např. v teorii pevných látek, kvantové teorii pole a kosmologii. Je autorem monografií *Úvod do teorie supratekutosti* (Nauka 1965) a *Teorie supratekutosti* (Nauka 1971). V časopise *Příroda* uveřejnil články *Problémy kovového vodíku* (1971, č. 10) a *Supratekutost a fázové přechody v kapalném heliu* (spolu s J. A. FOMINEM, 1974, č. 6).

Otázka: *Jsou překážky bránící takovému mechanismu vzájemného působení elektronů principiální nebo technické povahy?*

Odpověď: Uplatnění popsaného mechanismu interakce elektronů, a tedy i dosažení vysokých teplot přechodu, brání dvě příčiny. První z nich má principiální charakter a plyne z Peierlsova teorému. Případá-li na elementární buňku krystalové mřížky jeden volný elektron, je energeticky výhodné, aby se každý druhý atom poněkud posunul ze své rovnovážné polohy. To znamená, že perioda mřížky se změní na dvojnásobnou a na jednu elementární buňku připadnou dva volné elektrony. Potom však se z vodiče stane dielektrikum, neboť podle Pauliho principu dva elektrony právě zaplní dva možné stavy a nezůstane žádný volný vodivostní elektron. Ukázalo se, že v jednorozměrných mřížkách snadno dochází k popsanému zdvojení. Tento jev se nazývá Peierlovým a brání vzniku kovové vodivosti u jednorozměrných struktur.

V současné době se těmito otázkami zabývá mnoho vědců. Asi před rokem (tj. v roce 1974) bylo skutečně experimentálně zjištěno zdvojování mřížkové konstanty v kvazi-jednorozměrných sloučeninách. Tím byla experimentálně potvrzena dřívější předpověď teoretiků o přeměně jednorozměrného kovu na dielektrikum. Zdálo by se, že této překážce se není možné vyhnout, odborníci se však snaží najít podmínky, jež by Peierlový jev oslabily.

Druhá potíž spočívá v tom, že podle L. D. LANDAUA v jednorozměrných soustavách principiálně nemohou probíhat žádné fázové transformace. Řekneme-li, že vodič přešel do supravodivého stavu, znamená to, že nad kritickou teplotou se chová jako normální kov, kdežto pod ní jako supravodič. Přitom nejde o obyčejnou fázovou transformaci, jakou je např. přeměna vody v led. Při supravodivém přechodu dojde ke změně vnitřní symetrie v látce. Jak ukázal N. N. BOGOLJUBOV, takové přechody jsou v jednorozměrných soustavách zakázány.

A tak tyto dva zákazy, Peierlový a Landauův-Bogoljubovův, vytvořily nepřekonatelnou bariéru, jež brání fázovému přechodu do supravodivého stavu u jednorozměrných soustav. Podle teorie by tento přechod byl možný pouze při teplotě absolutní nuly. Protože Peierlový přechod, tj. fázový přechod se změnou struktury (zdvojením periody mřížky), může probíhat jen při teplotě absolutní nuly, platí podle Landaua a Bogoljubova totéž i pro supravodivý přechod.

Otázka: *Jak by bylo možno obejít zmíněné překážky a využít jednorozměrných soustav k vytvoření vysokoteplotních supravodičů?*

Odpověď: K překonání vzniklých potíží se odborníci pokoušejí využít jednorozměrných soustav, které mají prvky dalších dvou rozměrů, tj. mají už zmíněnou strukturu svazku tužek. Jde například o látky označované jako TCNQ, TTF, TTT a KCP. V takových soustavách se působením slabé nejednorozměrnosti překonává Landauův-Bogoljubovův zákaz a supravodivý přechod je pak možný i při teplotách vyšších, než je absolutní nula. U sloučenin KCP, tj. $K_2[Pt(CN)_4]Br_{0,3} \times 3H_2O$ bylo rentgenovou strukturní analýzou prokázáno zdvojení periody mřížky*).

*) Experimenty prokazující zdvojení (ztrojení) periody mřížky jsou popsány ve Phys. Rev. B 8 (1973), 571. Nové údaje o struktuře těchto sloučenin viz Phys. Rev. Letters 33 (1974), 1079.

Avšak na rozdíl od předpovědi teorie, podle níž k fázovému přechodu v jednorozměrné soustavě mělo dojít pouze při teplotě 0 K, zjistilo se experimentálně zdvojení periody mřížky při 100 K. To lze vysvětlit tím, že použitá soustava není přísně jednorozměrná. Ve směru silného směštnání je vzájemné působení silné, ve směrech kolmých k předešlému je však slabé, takže je třeba uvažovat i malé efekty spojené se slabou nejednorozměrností. Tím se také vysvětluje zdvojení periody krystalické mřížky probíhající při 100 K místo při 0 K. Peierlsův jev, tj. vymizení kovové vodivosti, se tedy ve sloučeninách KCP projeví poměrně brzy.

Popsanou situaci ještě více vyhroutil druhý experiment, provedený americkými vědci na pennsylvánské univerzitě v roce 1974. Při práci s TCNQ a TTF pozorovali prudké zvýšení elektrické vodivosti (desetinásobné, a podle jiných až pětisetnásobné) již při teplotě 60 K, třebaže podle teorie by se vodivost měla zvýšit jen asi dvakrát. Ačkoli v tomto případě nejde ještě o supravodivost, bylo by takové zvýšení vodivosti při uvedené teplotě velkým úspěchem. Zmíněný jev se však bohužel projevuje jen v úzkém intervalu teplot; při snížení teploty elektrická vodivost náhle klesne téměř na nulu, jako by došlo k Peierlsovu přechodu. Je však třeba poznamenat, že zdvojení periody mřížky u této látky nebylo potvrzeno rentgenovou strukturní analýzou.

Sovětská teoretici L. P. GORKOV, I. T. DZJALOŠINSKIJ a JU. A. BYČKOV ukázali, že Peierlsův přechod i supravodivý přechod by měly probíhat při málo rozdílných teplotách, tj. v prvním přiblížení zhruba při téže teplotě. Uvažovali takto: v blízkosti teploty 60 K začal supravodivý přechod, ale dalšímu přechodu kovu na supravodič zabránil Peierlsův jev – kov se stal dielektrikem. Kdyby se podařilo zadržet Peierlsův přechod, bylo by možné vytvořit supravodič v blízkosti teploty 60 K. Tato možnost je však zatím jen čistě teoretickým předpokladem.

Skupina A. I. LARKINA, jež se zabývá zmíněným problémem, vidí východisko z uvedených potíží v tom, že se podaří objasnit mechanismy vzájemného působení mezi řetězci. Hlavní podíl na supravodivosti má vzájemné působení uvnitř řetězce, avšak elektrony mohou přeskakovat z jednoho řetězce na druhý; tím se zavádí do jednorozměrné soustavy prvek třírozměrnosti, který by mohl dovolit obejít výše uvedené nesnáze. Výsledek bude záviset na intenzitě vzájemného působení.

Bude-li pravděpodobnost přeskoků mezi řetězci velká, podle teorie bude možné supravodivost získat při dosti vysokých teplotách. Zřejmě je třeba, aby pravděpodobnost přeskoků překročila určitou kritickou hodnotu a aby přestaly působit zmíněné zákazy. Pak by bylo možno uskutečnit sen o vysokoteplotní supravodivosti, jenž vyplynul z Bardeenovy, Cooperovy a Schriefferovy teorie.

Literatura

AGRANOVICH V. M.: *Teorija eksitonov*. Nauka, Moskva 1968.

BROUDE V. L.: *Eksitony*. Znaniye, Kiev 1968.

VOL'SKIJ E. P.: *ŽETF* 43 (1962); 46 (1964).

GANTMACHER V. F.: *ŽETF* 44 (1963).

DAVYDOV A. S.: *Teorija molekularnykh eksitonov*. Nauka, Moskva 1968.

KIKOIN I. K., SMIRNOV JU. P.: *Puti razvitiya fiziki tverdogo tela*. Priroda 1968, No. 2.

- LIVŠIC I. M.: *Kvazičástic v současném fyzice*. Priroda 1958, No. 5.
 NOKS P.: *Teorie excitonů*. Mir, Moskva 1966.
 SARANCEV V. P.: *Nový způsob urychlení jaderných částic*. Priroda 1970, No. 6.
 SEREBRĀKOV A. V., REDKOVA T. M., LOBANOV V. L.: *phys. stat. sol. (a) 14 (1972)*.
 BOGOLJUBOV N. N., TOLMAČEV V. V., ŠIRKOV D. V.: *Nový způsob v teorii superprovodivosti*. AN SSSR, Moskva 1958.
 LANDAU L. D.: *Sbírka prací*, t. 1—2. Nauka, Moskva 1969.
 PEIERLS R.: *Kvantová teorie tuhých tel. I*, Moskva 1956.
 ŠRIFFER DŽ.: *Teorie superprovodivosti*. Nauka, Moskva 1970.

Hilbertovy problémy

O devatenáctém a dvacátém Hilbertově problému

Jiří Souček, Vladimír Souček, Jana Stará, Praha

Devatenáctý z Hilbertových problémů se týká vlastností řešení regulárních variačních úloh. Pod regulární variační úlohou se zde rozumí úloha o nalezení minima funkcionálu

$$I(z) = \int F(x, y, z, p, q) \, dx \, dy$$

ve vhodné třídě funkcí, přičemž F je analytická funkce, která na celém definičním oboru splňuje nerovnost

$$(1) \quad \frac{\partial^2 F}{\partial p^2} \frac{\partial^2 F}{\partial q^2} - \left(\frac{\partial^2 F}{\partial p \partial q} \right)^2 > 0.$$

Jestliže body x, y leží v oblasti $\Omega \subset \mathbb{R}_2$, pak minimum je možné hledat ve třídách funkcí z definovaných na Ω ; symboly p, q potom značí derivace funkce z podle proměnných x a y . D. HILBERT v zadání problému neomezuje volbu takové třídy funkcí žádnými podmínkami, můžeme však předpokládat, že derivace p a q , které se v definici funkcionálu I vyskytují, byly klasické spojité derivace. Budeme v této souvislosti mluvit o klasickém řešení.