

# Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

---

A. Ju Osip'jan

Fyzika pevných látek - stále významnější oblast fyziky

*Pokroky matematiky, fyziky a astronomie*, Vol. 22 (1977), No. 5, 269--277

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/138484>

## 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>

## Literatura

- [1] L. NOVÝ a J. SMOLKA: *Isaac Newton*, Knihnice Portréty, Orbis 1969.
- [2] L. NOVÝ: *K Newtonově práci na textu díla Philosophiae naturalis principia mathematica*, Čs. čas. fyz. A 24 (1974) 490.
- [3] A. BĚLAŘ: *Dynamické zákony Newtonovy*, Fyzikální knižnice SPN 1964.
- [4] Z. HORÁK a J. MACHALICKÝ: *Vesmír* 46 (1967) 271.
- [5] Z. HORÁK a F. KRUPKA: *Fyzika*, 2. vyd., SNTL, ALFA, 1976.
- [6] B. VYBÍRAL: *Fyzikální pole z hlediska teorie relativity*, Edice Pomocné knihy pro žáky, SPN 1976.
- [7] M. ČERNOHORSKÝ: *Newtonova formulace prvního pohybového zákona*, Pokroky MFA 20 (1976) 344.
- [8] J. KUČERA a Z. HORÁK: *Tensory v elektrotechnice a ve fyzice*, Nakl. ČSAV, Praha 1963.
- [9] D. E. LIEBSCHER: *Theoretische Physik*, Akademie-Verlag, Berlin 1973, str. 213.
- [10] Z. HORÁK: *Observational Determination of Inertial-Coordinate Frames in Interstellar Space*, 27. Int. Astronautical Congress, Anaheim 1976 (Preprint).
- [11] Z. HORÁK: *From Copernicus to Einstein*, Memoirs and Observations of the Czechoslovak Astronomical Society of Czech. Academy Sci., No 15, Praha 1975, str. 239.
- [12] J. A. WHEELER and R. P. FEYNMAN: *Rev. Mod. Phys.* 21 (1949) 425.
- [13] L. LE SAGE: *Mémoires de Berlin, 1782*, Berlin 1784, str. 404 (viz E. WHITTAKER: *A History of the Theories of Aether and Electricity*, I. T. Nelson, London 1962, str. 31).

## Fyzika pevných látek – stále významnější oblast fyziky\*)

*Ju. A. Osip'jan, Moskva*

**Otázka:** *Čím lze vysvětlit rychlý rozvoj fyziky pevných látek ve srovnání s jinými vedoucími oblastmi fyziky?*

**Odpověď:** Fyzika pevných látek začíná v poslední době skutečně zaujímat vedoucí postavení mezi ostatními obory fyziky. Projevuje se to rychlým růstem jak počtu pracovníků, tak i objemu investic v tomto oboru. Zvýšení úlohy fyziky pevných látek je v podstatě spojeno s ohromným počtem technických aplikací a zejména s vytvářením nových materiálů. Ve vědě i v technice, jak známo, existuje mnoho principiálně nových myšlenek (konstrukce strojů, principů přenosu pohybů apod.), které nemohou být

---

\*) Interview speciálního korespondenta časopisu *Priroda* Z. L. POKIROVSKÉHO s ředitelem Ústavu fyziky pevných látek AV SSSR JU. A. OSIP'JANEM (*Priroda* 1975, č. 10).

© Překlad uveřejněn s laskavým svolením redakce časopisu *Priroda*.

realizovány, protože neexistují materiály potřebných vlastností. Je možné dokonce říci, že materiály jsou limitujícím faktorem rozvoje celých vědeckých oborů. Např. je v principu známo, jak uskutečnit řadu procesů přeměny energií, avšak zatím neumíme sestavit zařízení, ve kterých by bylo možné takové přeměny uskutečnit. Konstrukční prvky takových zařízení musí vydržet extrémně vysoké teploty a obrovské tlaky i silná elektrická a magnetická pole. Kdyby bylo možné dát konstruktérům energetických reaktorů materiály, které k tomu nezbytně potřebují, pak by otázka přeměny energie mohla být vyřešena podstatně rychleji.

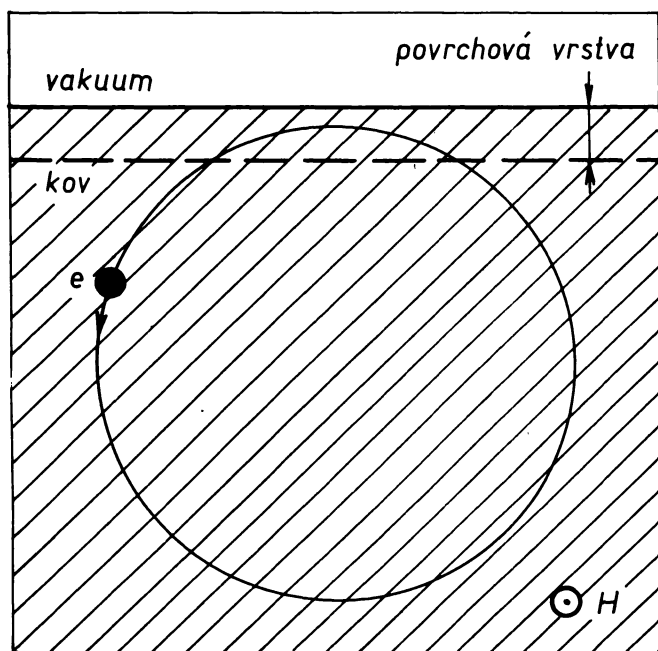
Příprava nových materiálů je proto jedním z hlavních směrů současné fyziky pevných látek. Neméně závažný je úkol konstruovat přístroje k realizaci nových postupů, vytvořit nové technologie a vypracovat citlivé kontroly kvality materiálů a jejich vlastností.

*Otázka: Jaké principiálně nové myšlenky z fyziky pevných látek vedly k praktickému uplatnění?*

Odpověď: Před našima očima proběhla technická revoluce v elektronice, kde byl dokončen přechod od elektrovakuových přístrojů ke krystalickým polovodičovým zařízením. Tato revoluce měla za následek přebudování celé elektrotechniky a náplně jejího výzkumu, techniky i způsobu práce. V čem byl smysl této revoluce? Jde o to, že v elektronkách se nositelé proudu – elektrony – pohybují ve vakuu a jejich hustota je velmi malá. Naproti tomu v krystalické látce je počet elektronů v objemové jednotce o několik řádů vyšší. Krystalické polovodiče dovolily také konstrukce miniaturních elektronických zařízení.

V kovech je počet elektronů v objemové jednotce ve srovnání s čistými polovodiči ještě o několik řádů vyšší. Bohužel nejsou dosud úplně známy zákony pohybu elektronů v kovech, neumíme ještě tento pohyb plně ovládat, měnit dráhy elektronů a vyvést je z kovu ven. Až dokážeme tyto problémy vyřešit, dovrší se další revoluce v „pevnolátkové“ elektronice. Zatím je to cíl, fantazie. K jeho dosažení zkoumá Ústav fyziky pevných látek AV SSSR spolu s dalšími ústavy Akademie intenzivně zákony pohybu elektronů v kovech za působení elektrických a magnetických polí. Byly již objeveny zajímavé jevy, které možná již v současnosti budou využity ke konstrukci nových přístrojů. Např. všem je známa konstrukce cyklotronu. V něm působí na elektrony magnetické pole Lorentzovou silou, která zakřivuje přímočaré dráhy elektronů. Působíme-li na elektron elektromagnetickým polem o frekvenci rovné frekvenci oběhu elektronu po orbitě, tj. dojde-li k rezonanci mezi frekvencí působící síly a frekvencí oběhu objektu, který tuto energii spotřebovává, dochází k rezonančnímu urychlování elektronů. Přesně stejný jev existuje při pohybu elektronů v kovech. Nazýváme jej *cyklotronová rezonance*. Pohyb elektronů v kovech se samozřejmě liší od pohybu elektronů ve vakuu. Elektrony se tu pohybují po velmi složitých drahách. Dosud úplně neznáme, jaké to jsou dráhy, tím spíše, že to nemohou být dráhy zcela libovolné. Jak jsem již uvedl, je uvnitř kovu počet nositelů proudu – počet elektronů v objemové jednotce – mnohonásobně větší, než může být ve vakuovém přístroji. Proto studium těchto jevů slibuje tak ohromné perspektivy.

V Ústavu fyziky pevných látek AV SSSR se s velkým úsilím studuje elektronová struk-



Obr. 1. Dráha pohybu elektronu  $e$  v magnetickém poli  $H$ , jehož směr je rovnoběžný s povrchem kovu. Změní-li se za dobu oběhu elektronu po dráze uvnitř kovu vysokofrekvenční pole v povrchové vrstvě o celý násobek periody, dochází k cyklotronové rezonanci. Povrchový odpor se přitom prudce změní. Ke vzniku rezonance je nutné, aby se elektron na své dráze nesetkal se žádným atomem příměsi, jinak v důsledku srážky vyběhne z dráhy; přitom je délka dráhy při jednom oběhu rovna asi 1 miliónu meziatomových vzdáleností.

tura kovů. Bylo objeveno několik nových rezonančních jevů, např. V. F. Gantmacher objevil jev, který nese jeho jméno\*).

Otázka: *Hovořil jste o důležitosti studia vlivu mohutných svazků elektromagnetických paprsků na hmotu. Jaké výsledky byly v tomto směru získány ve vašem ústavu?*

Odpověď: Skutečně studujeme chování pevných látek při působení elektromagnetického záření. Např. ozařujeme mohutnými laserovými paprsky krystaly. Při tom mohou nastat dva procesy: především může laserové záření soustředěné do malého objemu krystalu vést k porušení krystalové mřížky; to umožňuje studovat poruchy v pevné látce, pevnost materiálů a mechanismus jejího porušování; za druhé ozařování krystalů laserovým a ostatně i obyčejným světlem může vést ke vzniku zajímavých útvarů – kvazičástic – nazývaných excitony\*\*).

\*) GANTMACHER V. F.: „Volné“ elektrony uvnitř kovu. *Priroda* 1965, č. 7.

\*\*\*) Sovětská věda má prioritu jak ve vypracování teorie excitonů, tak i v jejich experimentálním důkazu viz: FRENKEL J.: *Phys. Rev.* 37 (1931), 17–45 a 1276–1294; OBREIMOV J. V., A. F. PRICHOTKO ve sborníku *Pamjati S. J. Vavilova Moskva* 1952, str. 197; GROSS E. F., B. P. ZACHARČENJA, N. M. REJNOV: *DAN* 92 (1953), 265.

Zvláštností ozařování krystalů laserovým zářením je, že laserové paprsky v důsledku své vysoké účinnosti vyvolávají v krystalech velmi vysokou koncentraci excitonů v objemové jednotce.

Co je to exciton? Můžeme si jej v pevné látce představit jako určitou obdobu atomu vodíku. Avšak zatímco v atomu vodíku je elektron vázán na proton, který je přibližně 2000krát těžší než elektron, v excitonu je elektron vázán na tzv. díru – také kvazičástici – která se vytvoří v tom místě krystalu, které elektron „opustil“. Hmotnost díry je obvykle větší než hmotnost elektronu, ovšem nedosahuje hmotnosti protonu. Kromě toho interakce elektronu s dírou neprobíhá ve vakuu, nýbrž v dielektrickém prostředí o vysoké dielektrické konstantě. Výsledná interakce elektronu s dírou není tak silná jako interakce elektronu a protonu v atomu vodíku a rozměr excitonu je podstatně větší než běžný rozměr atomu vodíku.

Při malých koncentracích se excitony chovají v krystalu jako plyn. Tak jako zvýšení hustoty molekul plynu v daném objemu může vést ke vzniku kapalné fáze, tak zvýšení koncentrace excitonů může být doprovázeno vznikem nových excitonových fází. V tomto případě má podstatný význam, že vazba elektronu a díry je v excitonech slabá. Ukázalo se, že v polovodičích krystalech dochází při vysokých koncentracích excitonů k jejich rozpadu a ke vzniku „kapek“ elektronově dírové plazmy, která vznikne ze zbytků excitonů.

V jiných typech krystalů, např. v molekulárních organických krystalech, mají excitony mnohem pevnější stavbu, energie vazby elektronu s dírou je v nich někdy stokrát i vícekrát vyšší než v polovodičích. Proto se další směr výzkumu v Ústavu fyziky pevných látek AV SSSR týká studia vysokých koncentrací excitonů v těchto krystalech. Je třeba zdůraznit, že exciton je tzv. boseovská částice. Proto pro něj neplatí Pauliho princip a v každém energetickém stavu krystalu může současně existovat libovolný počet excitonů. To znamená, že při určitých koncentracích excitonů a za určitých teplot krystalu může nastat specifický jev – tzv. bose-einsteinovská kondenzace. Při tomto jevu se všechny excitony shromáždí na jedné jediné nejnižší energetické hladině, která vytvoří jednotnou kvantovou soustavu.

V kondenzovaných systémech bylo již podobné chování zjištěno. K bosonům patří takové částice, jako fotony, fonony, Cooperovy páry a tzv. excitace v kapalném heliu. Je známo, že Cooperovy páry způsobují supravodivost; při excitaci v kapalném heliu pod kritickým bodem pozorujeme jev supratekutosti. Je velmi pozoruhodné, že při kondenzaci excitonů může být pozorován nový „suprajeve“ – tzv. tepelná supravodivost, tj. předávání tepelné energie bez tepelných ztrát.

Jednou z dosavadních potíží prací tohoto směru je, že excitony odpovídají nerovnovážným stavům krystalu a velmi rychle v něm „odumírají“. Proto je nutné excitonové procesy experimentálně zkoumat takovými metodami, které umožňují registrovat jevy, které proběhnou ve velmi krátkém časovém intervalu –  $10^{-9}$  až  $10^{-11}$  s. Tímto problémem se konkrétně zabývají pracovníci Ústavu fyziky pevných látek AV SSR. Při studiu vzbuzeného stavu krystalu a možností získat v takovém stavu velký počet excitonů se snažíme o to, aby sám „zánik“ excitonů sehrál pozitivní roli – snažíme se o vytvoření excitonového laseru na tomto principu.

V SSSR i v zahraničí se v současné době rozvíjí takový směr fyzikálních výzkumů,

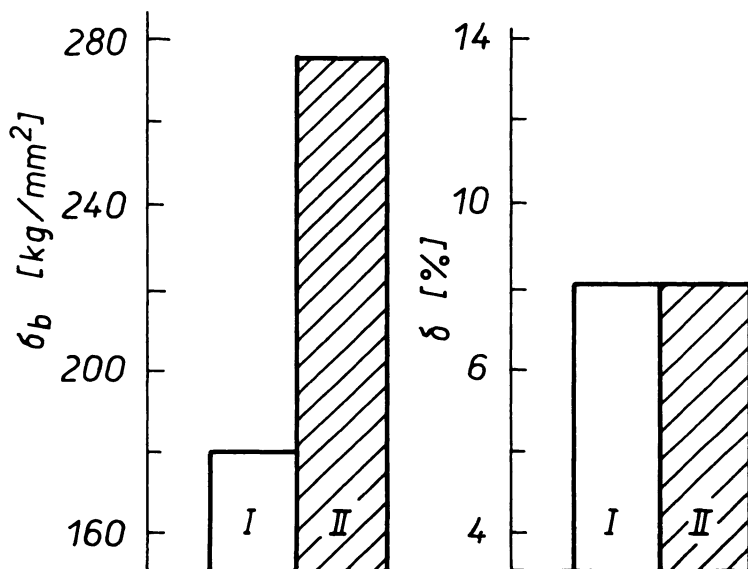
při kterých jde o studium chování excitonů o vysokých koncentracích v krystalech. Tyto práce zaujímají jedno z důležitých míst nejen v práci Ústavu fyziky pevných látek, nýbrž i v tematice Lebeděvova Fyzikálního ústavu, Ioffeho Fyzikálně technického ústavu i Ústavu radiotechniky a elektrotechniky AV SSSR.

Uvedl jsem dva příklady základního výzkumu a za každým z nich leží ohromná oblast aplikačních možností. Studium elektronové struktury kovů dovoluje, aby se z kovu stal přístroj, a studium excitonových stavů dává naději na sestrojení nových zdrojů záření i nových tepelných supravodičů. Objev tepelných supravodičů, tj. vodičů tepla bez ztráty energie, by způsobil převrat v tepelné technice.

Z toho, co bylo řečeno, je jasné, že studium fundamentálních procesů vede k neočekávaným a velmi významným technickým aplikacím a především ke vzniku kvalitativně nových směrů ve vědě.

*Otázka: Jaké konkrétní práce v oblasti nových materiálů se provádějí v Ústavu fyziky pevných látek AV SSSR?*

*Odpověď: Kromě základních výzkumů se zde uskutečňuje mnoho aplikačních prací, jak už bylo uvedeno, především v oblasti nových materiálů důležitých pro techniku. V současné době věnujeme mnoho pozornosti pěstování monokrystalů. Ukazuje se, že např. těžkotavitelné kovy ve formě monokrystalů mají ve srovnání s obyčejnými polykrystalickými kovy připravenými vhodnými způsoby řadu předností. Např. mono-*



Obr. 2. Charakteristiky pevnosti oceli o vysoké pevnosti po obyčejném zakalení (I) a po termomechanickém zpracování (II):  $\sigma_b$  — mez pevnosti,  $\delta$  %-relativní zbytkové prodloužení. Je vidět, že použití speciálního termomechanického zpracování vzorku zvyšuje jeho pevnost. Je-li po obyčejném tepelném zpracování (zakalení s následujícím vyžháním oceli) mez pevnosti asi 180 kg/mm<sup>2</sup>, pak po speciálním termomechanickém zpracování se může mez pevnosti zvýšit na 270–280 kg/mm<sup>2</sup> za stejné plastičnosti oceli.

krystaly molybdenu mají mnohem vyšší plastičnost, je z nich možné vyrobit takové věci, které z polykrystalického kovu nelze z principiálních důvodů vyrobit. Pouze z monokrystalů je možné vyrobit mnoho složitých součástí pro elektroniku.

Druhým směrem prací je zhotovování materiálů o vysoké pevnosti. Má-li obyčejná ocel dnes pevnost asi  $30 \text{ kg/mm}^2$  a speciální oceli dosahují asi  $100\text{--}150 \text{ kg/mm}^2$ , pak některé oceli připravené v Ústavu fyziky pevných látek AV SSSR, dosahují pevnosti okolo  $280 \text{ kg/mm}^2$ . Taková superpevná ocel potřebuje pro své opracování nové stroje i nástroje.

Dalším velkým problémem je otázka přípravy supravodivých slitin a – v daleké perspektivě – přípravy supravodičů pracujících za pokojové teploty. V současné době se Ústav fyziky pevných látek AV SSSR zabývá přípravou supravodičů pro vinutí cívek supersilných elektromagnetů\*) sloužících např. ke konstrukci urychlovačů elementárních částic. Takové vodiče musí vydržet vysoké proudy a silná magnetická pole bez porušení supravodivého stavu. Rekordních hodnot v těchto případech dosahují sloučeniny niobu s alumiнием a germaniem. Bohužel jsou to materiály velmi křehké a aby z nich bylo možné vyrobit vodič, je nutné vypracovat pro to speciální technologii. Tyto práce se rovněž provádějí v Ústavu fyziky pevných látek AV SSSR.

Kromě toho tu vzniká ještě jeden složitý problém: Jak zabezpečit provozuschopnost soustavy v případě krátkodobého porušení supravodivého stavu v libovolném úseku vodiče? Protože zařízením prochází ohromný proud, může se okamžitě vyvinout obrovské množství tepla, tj. dojít k výbuchu – vždyť vodič okamžitě přestane být supravodivým a jeho odpor značně vzroste. Tato obtíž se překonává tím, že se vytvoří mnohažilový kabel. Ten se zhotovuje tak, že obsahuje kromě supravodičů ještě silný měděný vodič a kabel je tak schopen vydržet vysoké proudy. Při héliové teplotě prochází proud supravodiči, při porušení supravodivého stavu pak měděným vodičem a tak při „havárii“ zůstane zařízení uchráněno a nepoškozené.

Důležitý význam pro celou řadu radiotechnických zařízení mají supravodivé rezonátory. V časopise *Priroda* bylo již referováno\*\*) o metodě „kolektivního“ urychlování částic, která byla vypracována v SÚJV v Dubně. Pro urychlovač je třeba použít supravodivé slitiny vysokých kvalit. Také tento problém se odráží v tematice Ústavu fyziky pevných látek AV SSSR.

Další směr aplikačních prací ústavu se týká přípravy slitin, avšak nikoliv tavením, nýbrž s použitím tzv. kompozitních materiálů. Takové látky jsou v principu sestaveny jako železobeton: jednou složkou je železo jako armatura (kostra), druhou beton jako výplň (matrice). Je tak např. možné armovat nikl wolframovými vlákny. V takové soustavě je velmi pevná kostra a tvárná matrice. Pevná kostra přejímá na sebe hlavní část zatížení. V případě přetížení, jestliže se pevnost kostry ukáže jako nedostatečná, pohltí se energie vnějšího namáhání plastickou deformací matrice a konstrukce se nepoškodí.

Jak ukázaly výzkumné práce Ústavu fyziky pevných látek AV SSSR, lze takovým způsobem připravit lehké a velmi pevné kompozitní materiály. V současné době se

---

\*) ČEREMYCH P. A.: Supersilná magnetická pole, *Priroda* 1974, č. 12.

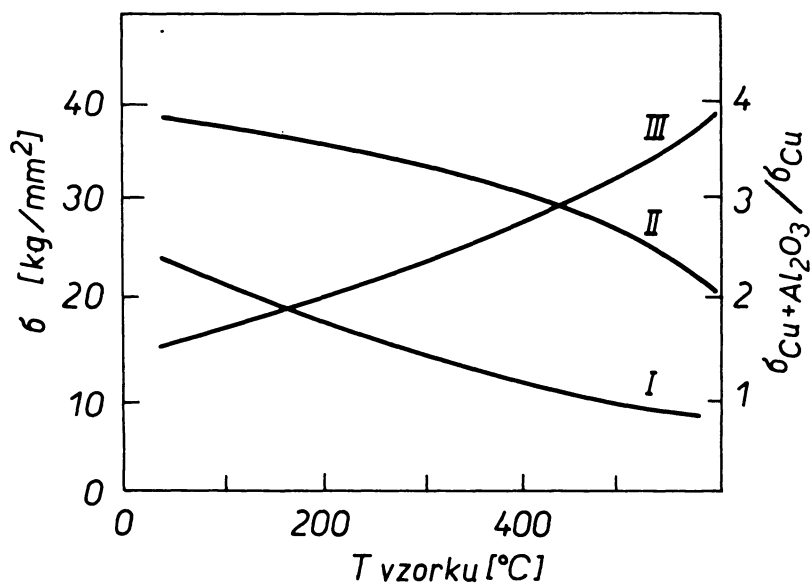
\*\*) SARANCEV V. P.: Novyj metod uskorenija jadernych častic, *Priroda* 1970, č. 6.

v ústavu připravují matrice s hlavním podílem alumina o pevnosti blízcí se pevností oceli.

Ústav fyziky pevných látek AV SSR sleduje také možnosti vypracování technologie výrobků z takových materiálů. Dnes dokáže ústavní technologie vyrobit z kompozitních materiálů řadu výrobků jako trubky, pásy apod. Tyto práce jsou dosud ve stadiu vývoje.

Kromě toho se konají pokusy s přípravou koster nikoliv jen z vláken, ale z různých jiných výplní. Kdyby se např. podařilo nějakým způsobem vpravit do mědi částice těžkovatelných stabilních kyslíčků, mohly by působit jako překážky při plastické deformaci. Takové kompozitní materiály by měly velmi cenné vlastnosti. Např. kompozitní materiál z mědi a kyslíčnicku hlinitého by měl jen asi o 10% menší vodivost než čistá měď, avšak proti mědi asi desetinásobnou pevnost. Takovými materiály by bylo možné nahradit ty součástky zařízení, od nichž požadujeme jak dobrou vodivost, tak žáruvzdornost. Bylo by možné z nich vyrobit vinutí cívek pro elektromagnety bez speciálního chlazení.

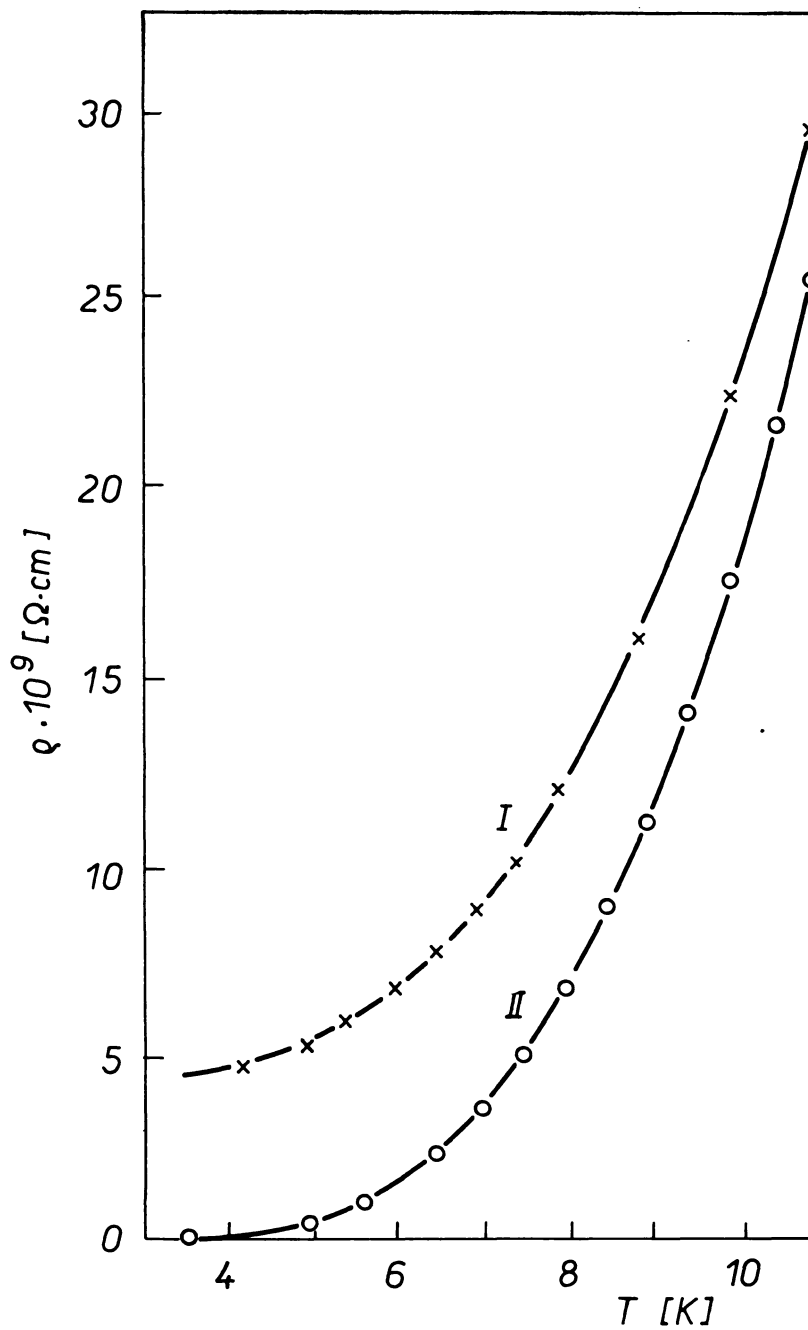
Další část významných aplikačních prací Ústavu fyziky pevných látek AV SSR se týká výroby nejrůznějších druhů monokrystalů. Jsme svědky toho, jak se rozšiřuje sortiment látek používaných v technice. Donedávna používali konstruktéři kovy, slitiny, cement, sklo apod. Nyní se začínají široce uplatňovat krystaly. V některých současných zařízeních je krystal nositelem hlavních konstrukčních zatížení a plní i jiné specifické funkce.



Obr. 3. Teplotní závislost mezi pevnosti: obyčejné mědi  $\sigma_{Cu}$  — (I), mědi s řídce rozptýlenými částicemi  $Al_2O_3$   $\sigma_{Cu+Al_2O_3}$  — (II) a poměr (III) těchto hodnot.

Je patrné, že přidáním  $Al_2O_3$  se zvyšuje pevnost mědi, přičemž s růstem teploty úloha této příměsi vzrůstá.





Obr. 4. Závislost specifického odporu  $\rho$  na teplotě: (I) — velmi čisté In; (II) — In rekordní čistoty. Poměr  $\rho_{300}/\rho_{3,4}$  je pro indium (I) — 16 000 a pro indium (II) — 80 000.

Tak např. v jednom případě tvoří krystal okno, jímž vstupuje potřebné záření, v druhém případě působí jako filtr záření. Často je krystal zdrojem záření – např. v laserech. V některých případech může být krystal zdrojem infračerveného záření a v jiných slouží k jeho registraci.

Dříve se používaly přírodní krystaly. Dnes se připravují krystaly umělé s obdobnými vlastnostmi. Objevila se tak nová oblast techniky; v analogii s názvem metalurgie bývá nazývána krystalurgie. V Ústavu fyziky pevných látek AV SSSR se tento obor také pěstuje. Velké úspěchy v této oblasti má zejména Šubnikovův krystalografický ústav AV SSSR. Významným problémem vědeckým a technickým je příprava čistých látek. Zavedení průmyslové výroby vysoce čistých látek je velmi vážná národohospodářská otázka. Musíme vybudovat vědecké základy výroby čistých látek. Pojem „čistá“ látka je relativní. Vše závisí na tom, pro jaké účely látku potřebujeme. Např. hovoříme-li o polovodičích, často na čistotu usuzujeme pouze z poměru k určitému druhu příměsí a vliv ostatních příměsí nepokládáme za významný a nevšímáme si jich. V souvislosti s tím se v Ústavu fyziky pevných látek AV SSSR vypracovávají metody kontroly absolutní čistoty látek, nikoliv však chemickými způsoby, nýbrž fyzikálními (hmotovou spektroskopií, radioizotopovými způsoby apod.)

Často, není-li možné určit stupeň čistoty přesněji, než je to možné současnými analytickými metodami, používá se k hodnocení čistoty změn fyzikálních vlastností látky např. elektrického odporu. Kvantová teorie pevných látek ukazuje, že krystal s ideální atomovou strukturou, kde atomy jsou přesně v uzlech krystalové mřížky, je pro elektron vakuem. To znamená, že takový systém nerozptyluje elektrony a elektrická vodivost je v něm nekonečná. Proto příčinou elektrického odporu není mřížka sama, nýbrž poruchy v její ideální stavbě. Odpor se rovněž silně mění vlivem teploty nebo přítomnosti poruch. Určení čistoty je tak možné převést na měření teplotní závislosti odporu; ze změn odporu je pak možné určovat čistotu. Např. u india vysoké čistoty, jehož odpor se změní při pokojové teplotě a při teplotě kapalného hélia, je poměr při obou teplotách roven 80 000. Přítomnost příměsí v tomto indiu nelze „pocítit“ žádnými jinými metodami.

V současné době byly v Ústavu fyziky pevných látek AV SSSR připraveny četné kovy o vysoké čistotě; jejich vzorky byly předány do speciálních sbírek Akademie věd SSSR. Tyto vzorky mohou dostat pracovníci, kteří se zabývají studiem vlastností čistých látek. Je samozřejmé, že v čase vymezeném pro tuto besedu nebylo možné vyložit všechny problémy, jimiž se zabývají specialisté v Ústavu fyziky pevných látek AV SSSR. Lze však doufat, že z toho, co bylo uvedeno, je aspoň do určitého stupně jasné, proč se fyzika pevných látek tak rychle rozvíjí.

*Přeložil Miroslav Rozsival*

---

*Výuka matematice má dát systém matematických znalostí a přitom ukázat šíři jejich možných užití.*

B. V. GNEDENKO