

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

J. Bačkovský

Fyzika vysokých tlaků a její perspektivy

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie, Vol. 10 (1965), No. 1, 20--32

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/137149>

Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 1965

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>

Nakonec nutno se zmínit o jednom zcela otevřeném problému *S*-maticové teorie elementárních částic. Tato teorie tím, že uznává a uvažuje jen asymptotické stavy (počáteční, tj. realizovaný před procesem, a koncový, tj. pozorovaný až po procesu), což jsou stavy určené jistými konstantními dynamickými veličinami (např. hybnostmi částic), se zbavila pojmu prostoročasového kontinua a speciálně spojitě plynoucího „mikroskopického“ času. Vzhledem k tomu, že pojmy prostoru a času jsou ve fyzice nezbytné alespoň v jistém omezeném rozsahu (např. popisu makroskopických fyzikálních jevů), stojí teorie před problémem zavést tyto pojmy jako sekundární, odvozené pojmy s omezenou použitelností. Podaří-li se to, budeme mít novou fyzikální teorii prostoru a času a to se patrně odrazí i v novém pojetí teorie relativity a teorie gravitace i kosmologie. Nakonec pravděpodobně ve fyzice zbudou jen problémy biofyzikální.

Literatura

- [1] MATTS ROOS: Tables of Elementary Particles and Resonant States. *Rev. Mod. Phys.* 35 (April 1963), 314; *Physics Letters* 8 (Jan. 1964), 1.
- [2] MARSHAK R. E., SUDARSHAN E. C. G.: *Introduction to Elementary Particle Physics*. Ruský překlad, Moskva 1962.
- [3] *Proc. Roy. Soc. A*, Vol. 278, No 1374 (7. April 1964).
- [4] CHEW G. F., GELL-MANN M., ROSENFELD A. H.: Strongly interacting particles. *Scientific American* (Feb. 1964).

FYZIKA VYSOKÝCH TLAKŮ A JEJÍ PERSPEKTIVY*

JINDŘICH BAČKOVSKÝ, Praha

Budu referovat o oboru fyziky, ve kterém nastal v posledních letech prudký rozvoj v důsledku úspěšných technických aplikací velkého hospodářského významu. Základ k tomuto oboru položil svými experimenty americký fyzik, laureát Nobelovy ceny Percy BRIDGMAN. Jeho snahou bylo jednak konstrukcí speciálních aparatur dosáhnout co nejvyšších tlaků, jednak změřit vlastnosti co největšího počtu látek za těchto tlaků. Nejjednoduššími prostředky jsou za těchto podmínek přístupná měření elektrické vodivosti a objemových změn. Interpretacemi naměřených výsledků z hlediska atomové teorie se nezabýval.

V souvislosti s tím bych rád připomněl, že Bridgmanovy práce v třicátých letech ovlivnily také pracovní program tehdy vznikajícího Fyzikálního výzkumu Škodových závodů. Z Paschenova zákona totiž vyplývá, že při vysokých tlacích v plynech by se mělo dosáhnout velmi vysokých gradientů elektrického napětí. Protože byl ve Škodových závodech tehdy zájem o vypínače pro velmi vysoká napětí, byla snaha využít

* Z části uveřejněno v čas. *Made in 64*, č. 3, str. 11.

tohoto jevu ke konstrukci nového typu vypínače. Kromě toho prof. DOLEJŠEK se domníval, že by bylo možné při výboji za vysokého tlaku budít velmi intenzivní rentgenové záření. Z těchto důvodů byly provedeny některé pokusy, které směřovaly ke konstrukci průchodky vysokého napětí do vysokotlaké trubice a byla opatřena některá zařízení (kompresor, hydraulický multiplikátor), avšak později pro technologické překážky i pro naléhání vrchního technického ředitelství Škodových závodů na dosažení výsledků bezprostředně technicky použitelných, byly další pokusy v tomto směru zastaveny.

Mocnou hnací silou výzkumu v oboru velmi vysokých tlaků byla později okolnost, že Spojené státy americké neměly vlastní ložiska diamantů a že musely diamanty dovážet pro jejich stále se zvětšující význam v průmyslu. Jejich širšímu technickému použití však bránily značně kolísající ceny. Proto se od r. 1941 začalo v USA se soustavným řešením otázky výroby umělých diamantů. Při skončení druhé světové války byly diamanty zařazeny do seznamu strategických surovin.

V roce 1955 oznámil americký koncern General Electric Co., Schenectady, že se podařila výroba umělých diamantů. Hlavní zásluhu na tomto úspěchu měli fyzikové F. P. BUNDY, H. M. STRONG, H. T. HALL a R. H. VENTORF. Sestavili aparaturu, ve které bylo možno dosáhnout po dobu 6 až 8 hodin tlaku 100 000 atmosfér a teploty 2300°K. Rentgenovou difrakční analýzou bylo potvrzeno, že kubická modifikace vznikající z hexagonálního grafitu jsou skutečně diamanty. Brzy nato oznámila švédská firma Asea, že také dovede vyrábět umělé diamanty.

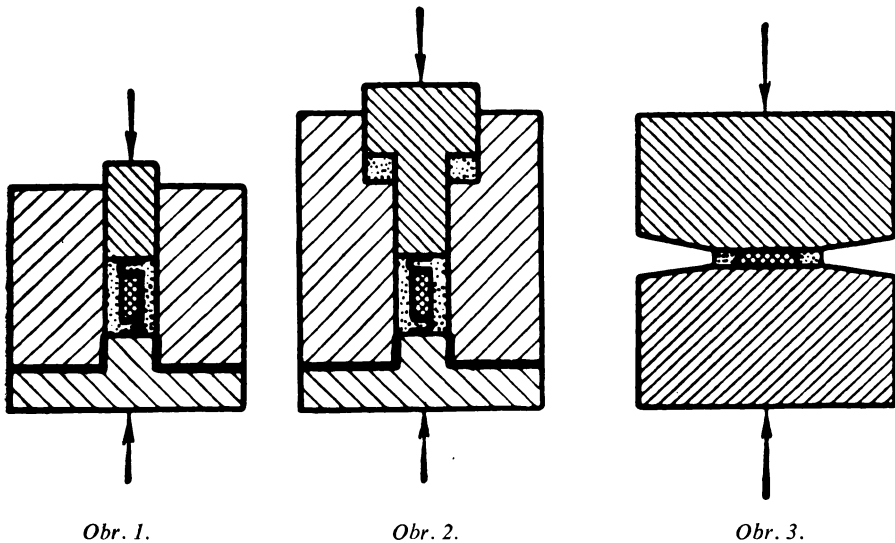
V současné době se již vyrábí několik tun umělých diamantů ročně s největší četností zrn o velikosti několik desetin mm, třebaže je možno vyrobit diamanty s rozměry milimetrovými. Umělé diamanty jsou nažloutlé, a proto se dobře nehodí pro šperkařské účely. Jejich výrobní cena byla v r. 1960 ještě asi o 6% vyšší než diamantů přírodních. Od té doby se však výroba umělých diamantů dále zdokonalila. Také v Sovětském svazu přes rozsáhlou exploataci diamantových ložisek v Jakutsku byla zahájena výroba umělých diamantů. Podle získaných informací činí výrobní náklady umělých diamantů v SSSR asi 1/5 ceny světové. Prodejní cena je nyní 1,3 rublu za karát a dále klesá. Podle zkušeností z charkovského závodu Srp a kladivo nahradí při broušení tvrdokovových nástrojů jeden diamantový kotouč asi 1200 kotoučů ze silicium-karbidu. Proto bylo v tomto závodě zakázáno používat karborundových kotoučů při broušení nástrojů ze spěkaných karbidů.

V našem průmyslu úsporou brusných karborundových kotoučů, zvýšením trvanlivosti náradí, zvýšením životnosti broušených dílců a celých strojních zařízení i snížením potřeby slinutých karbidů by se dosáhlo podle střízlivého odhadu Závodu První pětiletky v Šumperku ročních úspor asi 40 miliónů Kčs. To ovšem nejsou jediné aplikace umělých diamantů, které by byly možné v našem hospodářství, ale i tento příklad ukazuje, jak velký hospodářský efekt by mohly způsobit vědecké výsledky, které by byly včas využity v průmyslové výrobě.

Všimněme si nyní některých způsobů generace vysokých tlaků, zejména ultravysokých. Ideálních hydrostatických tlaků, tj. působících stejně ze všech stran, lze dosáhnout

nout jen uvnitř kapaliny. Avšak kapalin lze použít jen do tlaků asi 25 000 atm; při větších tlacích se zatím neosvědčují žádné těsnicí prostředky. Pro vyšší tlaky se proto používá místo kapalin plastických látek, zejména chloridu stříbrného, olova, hexagonálního bornitridu, grafitu, pyrofylitu a mastku, ve speciálních případech také lithiumhydridu nebo amorfního bóru.

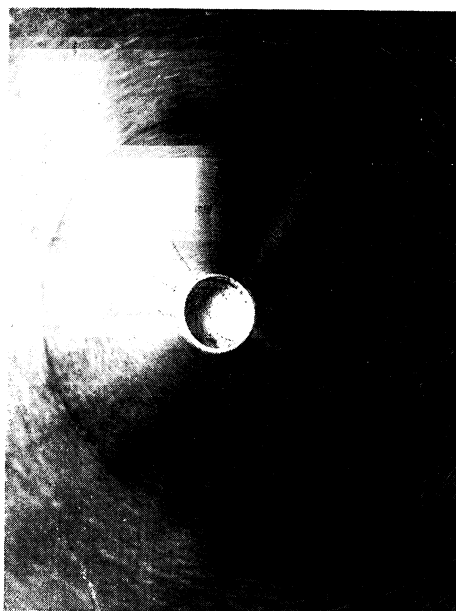
Požadavky na vlastnosti látek přenášejících tlak jsou četné a náročné: látka by měla být vysoce plastická, aby přenášela tlak hydrostaticky, měla by mít malou stlačitelnost, dále by měla mít nízkou tepelnou a elektrickou vodivost, vysoký bod tání, který se tlakem dále zvyšuje nebo alespoň neklesá a měla by být chemicky stálá a netečná i při vysokých teplotách. Ve speciálních případech by měla také mít nízký absorpční koeficient pro užité záření. Látka, která by splňovala všechny tyto požadavky, neexistuje a z výše uvedených se volí ta látka, která nejlépe vyhovuje při daných experimentálních podmínkách.



Pro generaci vysokých tlaků se nejprve užívalo zařízení podobných lisovacím nástrojům, později zařízení speciálně konstruovaných. Na obr. 1 až 3 jsou schematicky znázorněny různé typy komor pro vysoké tlaky. Na prvním obrázku je příklad tlakové komory podobné lisovacím nástrojům. Ve vnitřním prostoru komory vyplněném plastickou látkou je zakreslen vzorek pro měření elektrické vodivosti i s přívody elektrického proudu. Silná čára označuje izolační ohraničení součástí komory připojených na elektrický obvod. Horní pohyblivý píst tlakové komory ve své horní vyčnívající části je při stoupajícím zatížení nejvíce ohrožen rozdrčením. Proto je u konstrukce komory na obr. 2 píst ve své horní části rozšířen a tato část stlačuje plastickou látku, která svírá užší část pístu vnikající do tlakové komory a tak ji chrání proti rozdrčení.

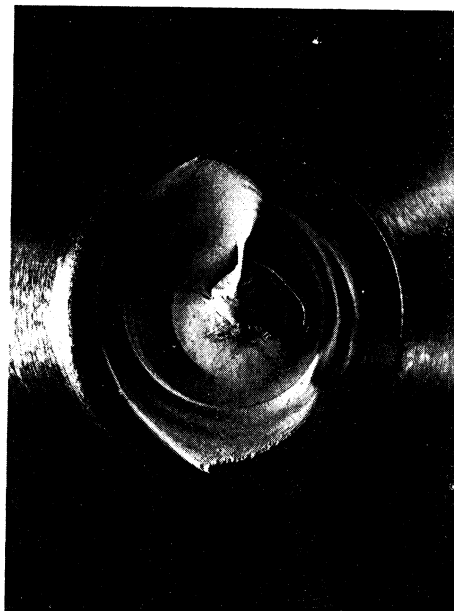
Velmi jednoduchý princip zařízení, kterého používal Bridgman, je znázorněn na

dalším obrázkem (obr. 3). Zkoumaný vzorek je v tomto případě uložen do otvoru v ose kruhové pastilky z plastické látky. Koeficient vnitřního tření materiálu pastilky však musí být pro tento účel dosti vysoký, aby se ve vzorku dosáhlo vysokého tlaku. V poslední době se tohoto způsobu používá také při zjišťování změn krystalové struktury vzorků pomocí rentgenových paprsků. Pro snížení absorpce těchto paprsků při průchodu materiálem kolem vzorku se používá jako plastické látky amorfního bóru. Rozdělení tlaku mezi ploškami lisovacích čelistí u tohoto typu zařízení je však velmi nerovnoměrné: maximální tlak uprostřed bývá více než dvojnásobkem průměrného tlaku mezi lisovacími ploškami. O průběhu tlaku mezi ploškami svědčí také deformace a destrukce čelistí z wolframkarbidu, která nastala při našich měřeních do tlaků asi 200 000 atm. Na obr. 4 je fotografie čelisti ze spékaného wolframkarbidu, kde lisovací ploška o průměru 3 mm původně rovinná je značně plasticky deformována a kolem ní jsou typické radiální trhliny, které vznikly následkem nedostatečného sevření ocelovou prstencovou objímkou. Při silnějším sevření ocelovou objímkou (obr. 5) dochází při vyšších tlacích k její plastické deformaci v blízkosti styčné plochy



Obr. 4.

Destrukce čelisti z wolframkarbidu při nedostatečném stažení ocelovou objímkou.

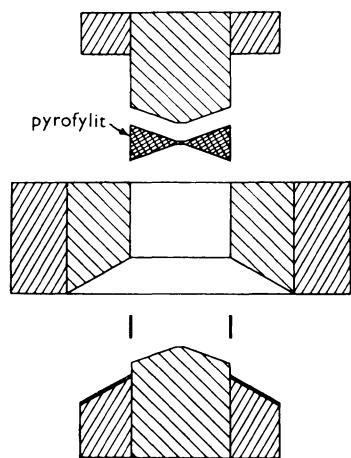


Obr. 5.

Destrukce čelisti z wolframkarbidu při silném stažení ocelovou objímkou při vyšších tlacích. Na styčné ploše mezi ocelí a wolframkarbidem je patrná plastická deformace oceli.

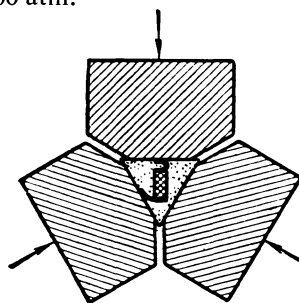
s wolframkarbidem. V tomto případě došlo k destrukci wolframkarbidu proto, že byla překročena mez pevnosti nikoli v celém objemu karbidové vložky, nýbrž jen na

kuželových plochách v okolí lisovacích plošek. Tomu se dá zabránit způsobem znázorněným na obr. 6. Mezi kuželové plochy se umístí vložka z pyrofy litu, která při stlačení chrání i kuželové plochy před porušením. Pomocí této konstrukce se dosáhlo dosud nejvyšších stacionárních tlaků téměř 600 000 atm.

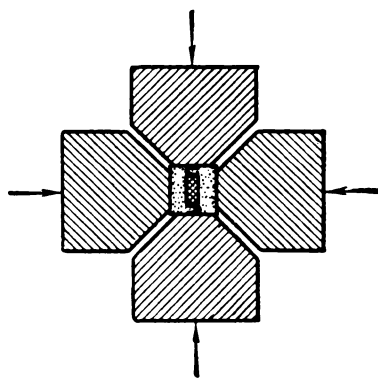


Obr. 6.

Prstencová komora i obě čelisti z wolframkarbidu jsou staženy ocelovými objímkami. Spodní čelist je slídovými vložkami od střední části elektricky izolována.



Obr. 7.

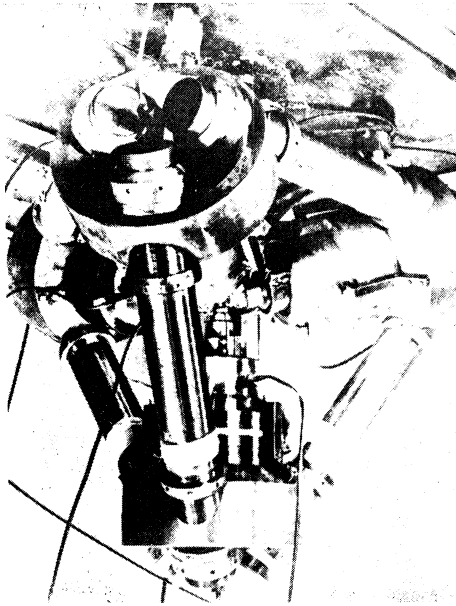


Obr. 8.

K dosažení co možná všestranného rovnoměrného tlaku byla zkonstruována zařízení, kde tlaková komora má tvar čtyřstěnu, popř. krychle a síly vyvolané příslušným počtem hydraulických lisů působí v různých směrech kolmo na stěny. Schematicky jsou tato zařízení znázorněna na obr. 7 a 8. Na dalších diapozitivích jsou snímky aparatur se čtyřmi (obr. 9), popř. se šesti (obr. 10) hydraulickými lisy. Konstrukce tlakové komory ve tvaru čtyřstěnu je patrna z dalšího obrázku 11.

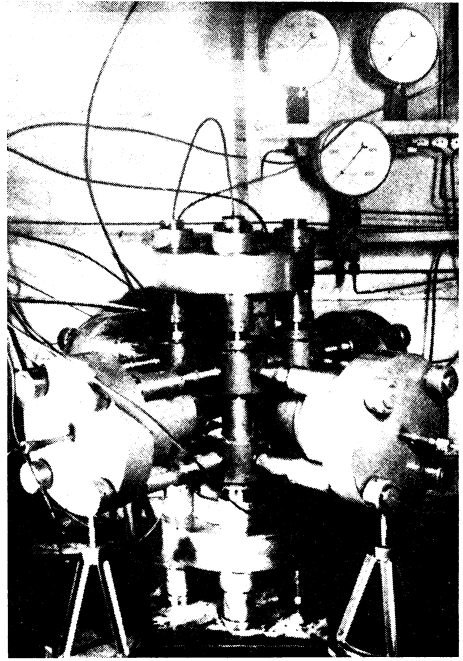
V poslední době se nejčastěji používá pro generaci vysokých tlaků zařízení nazývané „belt“, schematicky znázorněné na obr. 12. Tlaková komora i písty do ní zasahující jsou z wolframkarbidu sevřené několika silně předpjatými ocelovými prstny. Vnitřní prostor komory je z části vyplněn a utěsněn pyrofy litem. Poměrně velká změna objemu při stlačení je umožněna:

1. tím, že těsnicí plocha svírá s osou zařízení ostrý úhel,
2. že je užito dvou pístů,
3. použitím prokládaného těsnění s ocelovými kónusy.



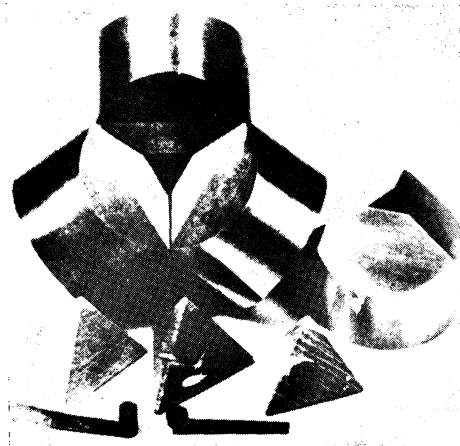
Obr. 9.

Tlaková aparatura se čtyřmi hydraulickými lisami.



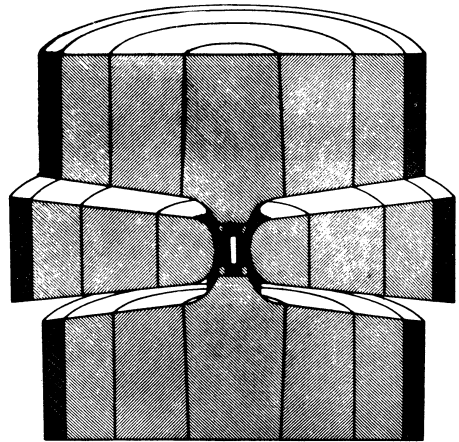
Obr. 10.

Tlaková aparatura se šesti hydraulickými lisami.



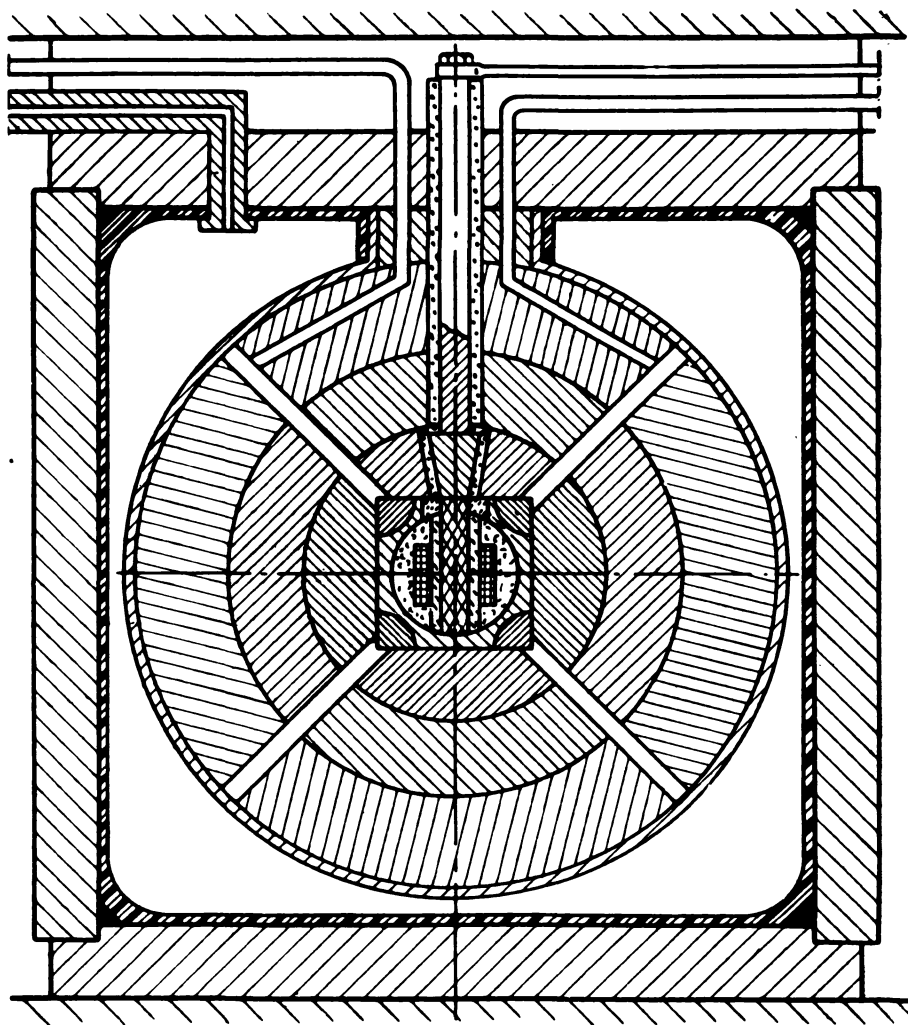
Obr. 11.

Čelisti tlakové komory ve tvaru čtyřštěnu.



Obr. 12.

Průřez tlakovou komorou typu „belt“.



Obr. 13.

Podstatně odlišný způsob konstrukce byl použit švédskou firmou Asea (obr. 13). Vysokotlaká komora se skládá z kulových výsečí. Výsledný vnitřní tlak je dán poměrem ploch vnějšího a vnitřního povrchu násobeným vnějším tlakem kapaliny. Komora byla umístěna v nádobě s kapalinou o tlaku asi 8000 atm. I když tato konstrukční myšlenka je velmi zajímavá, je pro praktický provoz toto řešení nevýhodné, protože vkládání a vyjímání vzorků je složité a nepohodlné.

Pro konstrukci komor lze použít oceli maximálně do tlaků 20 až 25 tisíc atm. Pro vyšší tlaky se používá obvykle spěkaného wolframkarbidu, který má největší tvrdost při obsahu asi 6% kobaltu. Slinutý wolframkarbid s kobaltem má pevnost v tlaku až

60 000 kp/cm², pevnost v tahu je však dosti nízká. Jak ukázal Bridgman pod hydrostatickým tlakem asi 26 000 atm je však pevnost spékaného wolframkarbidu v tahu asi 2 × až 3 × větší, tj. asi 56 000 kp/cm² a pevnost v tlaku při 28 000 atm je asi 140 000 kp/cm². Při větších tlacích pevnost wolframkarbidu ještě více stoupá, takže maximálního kvazihydrostatického tlaku bylo dosaženo téměř 600 000 atm. Při tlaku asi 200 000 atm bylo dosaženo teploty až 5000 °C.

Pro generaci vysokých tlaků jsou možné i jiné metody. Tak např. lze získat vysoké tlaky pomocí látek, které se při tuhnutí roztahují, jako např. voda. Při tuhnutí vizmutu by bylo možno dosáhnout maximálního tlaku asi 18 000 atm. Vhodnou látkou by např. také bylo germanium, jehož bod tání klesá z 936 °C na 360 °C při 180 000 atm; dosud se ho však nepoužilo.

Důležitá a poměrně jednoduchá metoda pro získání ultravysokých tlaků je užití tlakové vlny výbuchu. Pomocí této metody se dosáhlo v SSSR tlaků až 5 miliónů atm. Podrobnosti nejsou známy, ale je pravděpodobné, že bylo použito výbuchu kumulativních náloží. Při výbuchu těchto náloží se pohybují výtrysky plynů a par rychlostí až 100 000 km/s. Nevýhodou však je, že trvání vysokého tlaku je velmi krátké, takže pro studium fyzikálních jevů probíhajících během této krátké doby je nutno používat elektronických zařízení zachycujících děje trvajících 10⁻⁹ s. Pomocí této metody bylo např. poprvé zjištěno, že síra přechází při ultravysokém tlaku do kovového stavu. Byl také proveden pokus o přeměnu grafitu v diamanty a skutečně bylo pomocí rentgenové difrakční analýzy dokázáno, že nepatrná část grafitu se při výbuchu v diamanty proměnila.

Jsou jistě myslitelné i jiné způsoby generace ultravysokých tlaků, jako např. využití mechanické anizotropie látek, velmi silných polí elektrických a magnetických apod., ale takové pokusy nebyly dosud provedeny.

V oboru ultravysokých tlaků (tj. přes 20 000 atm) jsou fyzikální měření tlaků velmi obtížná. Bridgman použil k tomuto měření změny elektrického odporu a objemu. KENNEDY a LA MORI však v roce 1960 dokázali, že mezi různými Bridgmanovými měřeními je nesouhlas. Proto Kennedy a La Mori provedli nová měření tlaků při fázových přechodech různých látek pomocí aparatury, kde jeden z pístů byl otáčivý, aby se snížilo tření. Podle jejich měření je třeba Bridgmanovy údaje v oboru ultravysokých tlaků korigovat směrem dolů až asi o 30 %. Podle HALLA lze měřit v oboru ultravysokých tlaků ve válcových komorách vyplněných pyrofylytem s přesností asi 10 %. Pro měření je však třeba každou aparaturu předem okalibrovat, nejlépe podle přesně změřených fázových přechodů. Pro účely kalibrace jsou v literatuře uváděny tabulky s charakteristickými změnami fyzikálních vlastností.

Dosavadní měření stavových veličin pevných látek za ultravysokých tlaků nejsou příliš přesná. Proto nelze při studiu vlastností pevných látek vycházet ze stavové rovnice. Přesnější měření jsou zatím možná do tlaků jen asi 5000 atm. Diferenciální termografickou analýzou pomocí termočlánků se však dobře dají zjišťovat body tání a latentní tepla, jestliže se provede kalibrace. K indikaci fázových přechodů se však nejvíce používá změny elektrického odporu, který se mění zpravidla skokem.

Pro změnu bodů tání různých látek v závislosti na tlaku neplatí žádné všeobecné pravidlo. Body tání např. Ni, Pt, Fe a Rh rostou se stoupajícím tlakem (např. bod tání Rh při 80 000 atm stoupne asi o 900 °C). U Bi bod tání nejprve s tlakem klesá, ale od 22 000 atm a 170 °C začne stoupat. U Rh bod tání s tlakem stoupá a potom začne klesat. Tento průběh nebyl dosud vysvětlen. Velmi zajímavé chování při vysokých tlacích má voda. Při tlaku 2115 atm taje led při teplotě -22 °C , při 2170 atm je bod tání ledu -34 °C . Naproti tomu při tlaku asi 20 000 atmosfér taje led při $+80\text{ °C}$ a při tlaku 40 000 atm dokonce při teplotě $+192\text{ °C}$.

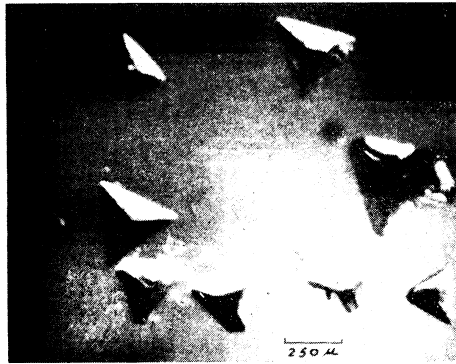
Nejvíce přístupné měření jsou indikace změn objemových a elektrického odporu. Tímto způsobem prozkoumal Bridgman řadu látek a zjistil polymorfní přechody asi u třetiny. Tak např. u Bi dochází v tlakovém rozmezí okolo 25 000 atm k prudkým změnám elektrického odporu. V důsledku toho se často používá tohoto prvku ke kalibraci tlaku. Z fyzikálního hlediska je velmi významné zjištění, že řada polovodičů přechází za ultravysokých tlaků do kovového stavu, přičemž elektrická vodivost stoupá až o 5 řádů. Přechod do kovového stavu za ultravysokých tlaků byl zjištěn i u dobrých izolátorů, jako je např. síra. Dá se očekávat, že při dosti vysokých tlacích všechny látky budou jevit elektrickou vodivost.

Velký význam má také studium optických vlastností látek za ultravysokých tlaků. DRICKAMER konstruoval vysokotlakou komůrku do 250 000 atm s průhlednými okénky z NaCl, pomocí níž mohl změřit u různých látek posun absorpčních hran v závislosti na tlaku. Při fázovém přechodu dochází zpravidla v poloze absorpční hrany ke skoku.

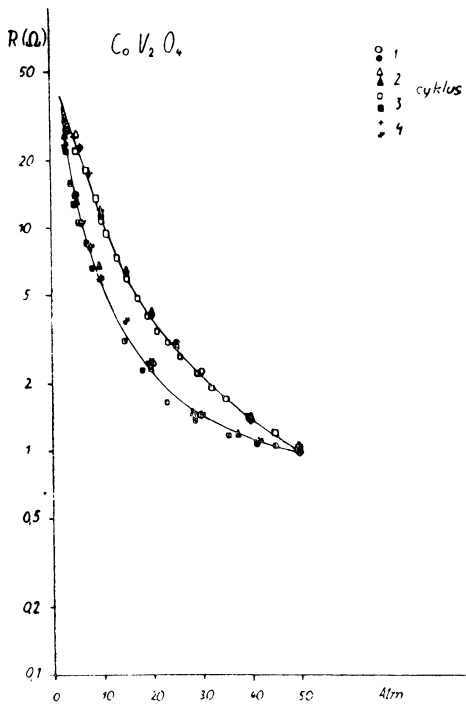
U nově vznikajících vysokotlakých modifikací byly krystalové struktury spolehlivě určeny jen u velmi malého počtu látek, protože principiální potíže s použitím rentgenových metod byly překonány teprve nedávno. K tomu je třeba připomenout, že se ukázalo, že tyto vysokotlaké modifikace nemusí mít nutně strukturu s vyšší symetrií, jak se dříve předpokládalo.

Pro zkoumání krystalových struktur rentgenovými paprsky metodou Debye-Scherrerových diagramů byly sestrojeny tlakové komůrky jednak z diamantu, jednak z berylia; s nimi se však dosáhlo tlaků jen 20 000 až 30 000 atm. Teprve JAMIESON sestrojil aparaturu, která je obdobou Bridgmanova zařízení a dovoluje určovat krystalové struktury až do tlaku 150 000 atm, a Drickamer nedávno podal zprávu o aparatuře, která umožňuje studovat krystalové struktury až do tlaků asi 300 000 až 400 000 atm.

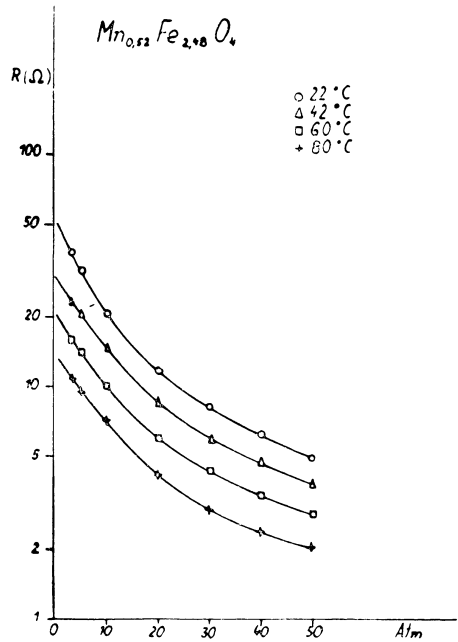
Velmi významné je zjištění, že některé vysokotlaké krystalové modifikace zůstávají v metastabilním stavu i za normálního tlaku. Kromě umělých diamantů byla vytvořena tvrdá modifikace bornitridu (borazon), jehož krystalky vidíme na obr. 14. Dále byly vytvořeny nové modifikace kysličníku křemičitého. Jsou to koezit, který vzniká při tlaku 35 000 atm a stipoverit (stišovit), který vzniká při tlaku 150 000 atm. Tyto modifikace vzdorují i horké kyselině fluorovodíkové a byly dodatečně nalezeny i v přírodě v meteorických kráterech. Černá modifikace fosforu byla připravena již Bridgmanem. V poslední době byly zjištěny také metastabilní modifikace germania,



Obr. 14.
Krystalky borazonu (kubický bornitrid).



Obr. 15.



Obr. 16.

indiumantimonidu, indiumtelluridu a dalších látek. Vedle diamantu má zatím největší technický význam borazon, který ještě při teplotách 2500 °C si ponechává své vlastnosti, zatímco diamant při teplotě 1060 °C shoří. V oblasti ultravysokých tlaků byla provedena také řada zkoumání kovů a kovových slitin. Tak např. slitina železa

s 0,5% alumina připravená za tlaku 100 000 atm má tvrdost 56 R_A , kdežto tatáž slitina připravená za atmosférického tlaku má tvrdost jen 27,8 R_A .

V našem ústavu jsme se zabývali zkoumáním některých vlastností polovodičů za ultravysokých tlaků. Reprodukovali jsme přechod germania do kovového stavu, který nastává při tlaku 120 000 atm a pokusili jsme se určit strukturu této kovové modifikace. V tom jsme však byli předstíženi americkými fyziky. Dále jsme studovali závislost elektrického odporu některých kysličníků na tlaku, teplotě a chemickém složení.

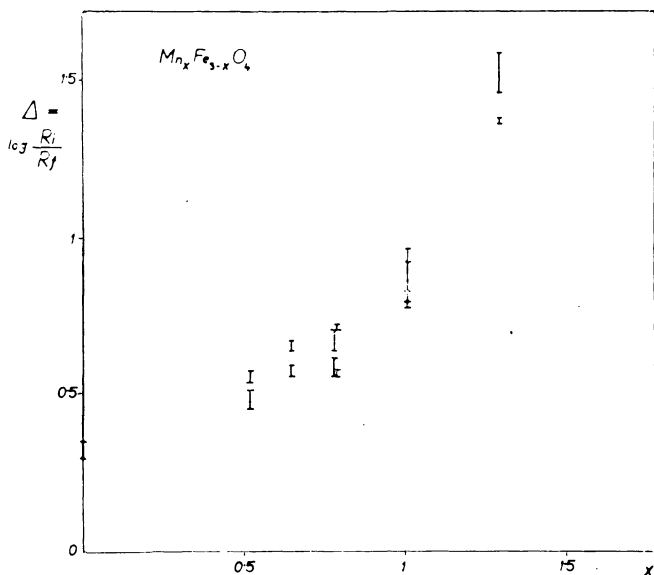
Obr. 15 ukazuje příklad reprodukovatelnosti měření elektrického odporu v několika cyklech při zvyšování a snižování tlaku. Tato měření byla provedena s tabletkou pyrofyritu, v jejíž ose byl umístěn vzorek sloučeniny CoV_2O_4 . Z obrázku je vidět, že v tomto tlakovém rozmezí elektrický odpor vzorku klesá a stoupá reprodukovatelně asi o půl druhého řádu s malou hysterezi způsobenou třením pístů hydraulického lisu. Na dalším obrázku je příklad měření elektrického odporu v závislosti na tlaku a na teplotě u vzorku manganatého feritu. Měření byla provedena s tímž vzorkem feritu postupně v opakovaných tlakových cyklech při různých teplotách udržovaných termostatem. Z obrázku je vidět, že při vyšších tlacích sice elektrický odpor vzorku klesá, ale průběh poklesu odporu je při různých teplotách stejný. Z toho se dá soudit, že u tohoto vzorku, v němž je přibližně 1/6 atomů železa nahrazena atomy manganu, nedochází ještě v tomto oboru tlaků k znatelnému snížení aktivační energie pro uvolnění elektronů. Přesto, že při vysokých tlacích se zvyšuje interakce mezi atomy, látka v tomto chemickém složení se dosud chová jako polovodič, neboť v závislosti na stoupající teplotě její vodivost stoupá.

Když jsme stejným způsobem sledovali vzorky feritu s větším obsahem manganu, ukázaly se některé odchylky. Na dalším grafu (obr. 17) je vynesena poměr počáteční a konečné hodnoty elektrického odporu v závislosti na počtu atomů manganu substituovaných do magnetitu. Z grafu je vidět, že teprve když podstatná část železa ve feritu je nahrazena manganem (přibližně 1/3 všech atomů železa), začíná se uplatňovat další faktor zvyšující elektrickou vodivost v závislosti na tlaku. Vysvětlujeme si to tak, že teprve tehdy, když je obsah manganu ve feritu podstatný, tj. prakticky když všechno dvojmocné železo je nahrazeno manganem a začíná se nahrazovat také železo trojmocné, vznikají útvary, které mají vyšší stupeň asymetrie a na ně má tlak větší vliv, takže snižuje aktivační energii výrazněji. Tyto výsledky jsou také v souladu s představami o vlivu trojmocného manganu na vznik lokálních mřížkových distorzí ve feritech zkoumaných pomocí metod rentgenových a magnetických.

V poslední době jsme provedli orientační pokusy se stlačováním kadmiantimonidu. Elektrický odpor u této látky při tlacích přes 100 000 atm prudce poklesl a při snížení tlaku setrval na nízké hodnotě. Při ochlazení vzorku elektrický odpor dále klesl. Podle těchto předběžných výsledků se tedy zdá, že u kadmiantimonidu existuje metastabilní kovová modifikace. Bude však zapotřebí dalším soustavným výzkumem tyto výsledky ověřit a určit krystalovou strukturu nové modifikace.

Výzkum v oboru ultravysokých tlaků má velký význam především pro fyziku pev-

ných látek, protože nabízí další experimentální techniku a metodiku pro získání hlubších znalostí o chování elektronového obalu atomů ve svazu. Síly vznikající za ultravysokých tlaků jsou stejného řádu jako vazební síly mezi atomy. Zatímco v pevných látkách vzájemná interakce atomů je v podstatě dána chemickým složením a krystalovou strukturou, umožňuje technika ultravysokých tlaků tuto interakci téměř plynule měnit. Zvýšená interakce mezi atomy však způsobuje změny energetických stavů,



Obr. 17.

popř. i změny uspořádání elektronů, a to hlavně vnějších. Při těchto změnách vnější elektronové struktury atomů mohou se elektrony v některých případech dostat do energetických minim, jejichž hloubka je větší než energie kmitů krystalové mřížky za normální teploty. Potom se tato nová krystalová forma udrží i za normálního tlaku, zůstává v metastabilním stavu a vykazuje změněné fyzikální vlastnosti.

Teprve při zvýšené teplotě se mění vazby mezi atomy, látka přechází z metastabilního stavu do stabilního a nabývá opět původních vlastností (diamant přechází v grafit, kubická modifikace bornitridu přechází v hexagonální apod.). Technický význam mají zejména ty materiály, u nichž takový metastabilní stav se změněnými vlastnostmi existuje i za normálního tlaku. Je zcela oprávněné očekávání, že pomocí ultravysokých tlaků budou připraveny nové materiály s překvapujícími vlastnostmi. Důležitý bude příspěvek fyziky vysokých tlaků k teorii pevných roztoků a slitin. Kromě toho se dá očekávat, že také dosavadní hranice ultravysokých statických tlaků, tj. asi 600 000 atm, bude překročena, použije-li se tvrdších materiálů než je wolframkarbid (např. diamantů nebo borazonu). Při užití pulsní techniky bude jistě možno podstatně

překročit dosavadní teploty do 5000 °K. Je pravděpodobné, že energetické stavy elektronů, v atomech za ultravysokých tlaků se podaří zjišťovat i pomocí rentgenové spektroskopie. Perspektivy této nové experimentální techniky jsou tedy značně široké.

Na závěr bych chtěl poznamenat, že výzkum za ultravysokých tlaků má také velký význam i pro další vědní obory, jako je geofyzika a geologie, astronomie i chemie.

Literatura

P. W. BRIDGMAN: *The Physics of High Pressure*. G. Bell, London 1949.

E. W. COMINGS: *High Pressure Technology*. Mc. Graw-Hill, New York 1956.

C. A. SWENSON: *Physics at High Pressure*. Solid State Physics, Vol. 11. Academic Press., New York 1960.

F. P. BUNDY, W. R. HIBBART, Jr. and H. M. STRONG: *Progress in Very High Pressure Research*. J. Wiley, New York-London 1961.

R. H. WENTORF: *Modern Very High Pressure Techniques*. Butterworths 1962.

W. PAUL, D. M. WARSHAUER: *Solids under Pressure*. Mc. Graw-Hill, New York 1963.

V. A. GALAKTIONOV Věstník A. N. SSSR 32 (1962), 12, 73.

K MODERNIZACI VYUČOVÁNÍ FYZICE

JOSEF FUKA, Olomouc

ÚVOD

V tomto článku půjde o seznámení čtenářů, kteří se přímo nezabývají otázkami vyučování, s problematikou tzv. modernizace vyučování fyzice. Řešením této problematiky se budou muset aspoň nepřímo zabývat jak učitelé fyziky škol všech druhů a stupňů, tak i vědečtí pracovníci výzkumných ústavů. O modernizaci vyučování fyzice se už mnoho diskutovalo na různých mezinárodních i našich konferencích a také psalo v různých mezinárodních i našich pedagogických a odborných časopisech. V některých státech, především v USA a v SSSR, byly už vypracovány konkrétní návrhy na modernizaci obsahu, metod a prostředků vyučování fyzice, které byly výzkumem prověřeny nebo jsou ve stadiu výzkumu. Podrobně o této otázce referuje M. VALOUCH v článku Snahy o modernizaci vyučování fyzice v zahraničí, uveřejněném v PMFA 9 (1964), 99 a další. U nás věnuje těmto otázkám velkou pozornost především JČMF. Je třeba připomenout, že JČMF již od svého založení v r. 1862 pečovala o zkvalitňování výuky fyziky na školách jednak přípravou a vydáváním dobrých učebnic, vývojem a výrobou kvalitních učebních pomůcek, řešením důležitých zásadních otázek didaktiky fyziky, jednak vydáváním vhodné odborné a metodické literatury pro učitele i populárně vědecké literatury pro žáky, jakož i získáváním zájmu nadaných žáků o studium fyziky, např. soutěží v řešení fyzikálních příkladů. Tato záslužná práce JČMF před první i druhou světovou válkou je všeobecně známa.