

**Československý  
časopis  
pro  
fyziku**

ČESKOSLOVENSKÁ  
AKADEMIE VĚD

CZECHOSLOVAK  
JOURNAL  
OF PHYSICS

SECTION A VOL. 37

**Zvláštní  
otisk**

**Reprint**

**1987**

SEKCE A

SVAZEK 37



ACADEMIA PRAHA

# zprávy

## 12. evropská konference o řízeném slučování a fyzice plazmatu a pracovní konference Výzkum na malých tokamacích

Budapešť, 2. 9. – 6. 9., 9. 9. – 12. 9. 1985

Ve dnech 2. 9. až 6. 9. 1985 se v Budapešti konala 12. evropská konference o řízeném slučování a fyzice plazmatu, organizovaná *Evropskou fyzikální společností a Centrálním ústavem fyzikálních výzkumů Maďarské akademie věd*. Konference patří k vrcholným akcím tohoto druhu v oboru výzkumu možného využití řízeného termojaderného slučování jako zdroje energie pro lidstvo. Až doposud byly pořádány jednou za dva roky (od letoška již každý rok). Třebaže podle názvu jde o konferenci evropskou, jsou zde vždy prezentovány prakticky veškeré nové výsledky na tomto poli z celého světa. Nejinak tomu bylo letos. Konference se zúčastnilo přes 400 účastníků. Bylo předneseno 20 vyžádaných referátů v plenární sekci (jímž byla vždy vyhrazena polovina denního zasedání) a kolem 35 vybraných přihlášených referátů mimořádné úrovně a obsahu ve dvou paralelních sekcích. Největší množství prací bylo prezentováno ve vývěskové sekci konference, kde každý autor měl po dobu jednoho dne k dispozici výstavní panel o ploše  $100 \times 160$  cm. Texty těchto prací, jichž bylo více než 350, obdržel každý účastník konference při registraci v dvoudílném sborníku, ve zhuštěné formě čtyřstránkového abstraktu.

Středem zájmu konference se staly vyžádané referáty o stavu prací na třech velkých termojaderných zařízeních typu tokamak, které jsou v současné době v provozu: TFTR (Test Facility Tokamak Reactor) — Princeton, USA, JET (Joint European Torus) — Culham, Velká Británie a JT-60 (Japan Torus) — Tokai, Japonsko. Nejvíce očekávány byly výsledky z JET, největšího existujícího tokamaku (objem komory  $190 \text{ m}^3$ , konstrukční náklady přes 300 milionů dolarů). Toto zařízení, uvedené do chodu v létě 1983, bylo postaveno s cílem demonstrovat uskutečnitelnost řízené termojaderné slučovací reakce deuteria s tritiem v po-

zemských podmínkách. První rok provozu splnil všechna očekávání, zařízení v režimu ohmického ohřevu dokonce překročilo plánované parametry. To se plně obrazilo na optimistické atmosféře 10. mezinárodní konference o fyzice plazmatu a řízeném jaderném slučování, uskutečněné v září 1984 v Londýně (tyto konference pořádá, rovněž jednou za dva roky, *Mezinárodní atomová agentura* se sídlem ve Vídni). V uplynulém roce se na zařízení JET přikročilo k rozhodující etapě — dodatečnému ohřevu ohmického plazmatu pomocí iontové cyklotronní vlny a vstříku svazků neutrálních částic s vysokou energií. Cílem je dosažení zápalné teploty termojaderné reakce, na jejímž splnění závisí, zda do zařízení bude možné (podle plánu v roce 1989) napustit tritium, a tím reakci uskutečnit. Výsledky prezentované na letošní evropské konferenci jsou v tomto směru poněkud zdrženlivé. Jako hlavní překážka, která se nově před fyziky na tomto poli objevila, je znatelný pokles doby udržení energie plazmatu, a tím mnohem menší vzrůst teploty plazmatu s dodatečně absorbovanou energií, než se očekávalo. Podobné výsledky, prakticky při všech druzích dodatečného ohřevu, byly hlášeny i z ostatních velkých tokamaků. Zdá se, že jako už tolikrát dříve se objevila po překonání jedné překážky další, jejíž překonání bude opět vyžadovat mravenčí práci stovek jednotlivců a desítek týmů pracujících na experimentálních zařízeních.

Nemalá naděje je v této situaci vkládána i do dalšího rozvoje teoretických prací v oboru vysokoteplotního plazmatu v tokamacích — především objasnění příčin zvýšeného transportu energie z centra plazmatu při dodatečných ohřevech a nalezení příčin degradace udržení. Velkou pozornost v tomto směru vzbudila neplánovaná přednáška akademika B. B. Kadomceva z *Ústavu atomové energie* v Moskvě, který předložil hypotézu o zvyšování úrovně magnetických šumů oscilacemi periferijního plazmatu buzenými právě energií dodatečného ohřevu. Tyto šумы způsobují zvýšený transport energie napříč udržovacím magnetickým polem a vedou k nasycení rostoucí závislosti doby udržení energie na hustotě plazmatu. Při vyšší úrovni šumů dochází k nasycení závislosti již při nižších hustotách, a tak obecně není rozdíl mezi ohmickým a dodateč-

ným ohřevem, ale jen mezi režimem s nízkou a vysokou hustotou. Podaří-li se úroveň šumů buzených dodatečnými ohřevy dostatečně snížit, poroste doba udržení energie dále s hustotou, tak jak to až dosud předpovídaly všechny zákony podobnosti platné pro zařízení typu tokamak. Závěr konference tedy přes částečnou skepsi vyzněl jako pobídka ke zvýšení jak experimentálního, tak i teoretického úsilí všech fyziků pracujících na tomto poli. Všeobecně převládá názor, že otázka uskutečnění řízeného slučování dnes stále ještě není jen otázkou velkých zařízení. Je třeba dále pokračovat i v experimentálním výzkumu na malých a středních tokamacích, které mají v důsledku větší flexibility pro základní fyzikální výzkum mnohé přednosti a s mnohem menšími náklady mohou přispět k objasnění řady fyzikálních problémů souvisejících s mechanismy přenosu energie a především zvýšených ztrát z plazmatu.

Zcela v tomto duchu probíhala následující týden od 9. 9. do 12. 9. 1985, rovněž v Budapešti, pracovní konference pořádaná *Mezinárodní atomovou agenturou* s názvem „Výzkum na malých tokamacích“ (IAEA technical committee meeting on research using small tokamaks). Zúčastnilo se jí 52 badatelů z 15 zemí, většina z nich byla účastníky předcházející evropské konference o řízeném slučování a fyzice plazmatu (ČSSR, Čína, Indie, Irán, Itálie, Japonsko, MLR, NDR, NSR, Rakousko, SSSR, Španělsko, Turecko, USA a Velká Británie). Ze zemí s tokamakovým programem nebyli přítomni zástupci z Austrálie, Belgie, Francie, Kanady a Libye.

Kromě úvodní části, v níž zástupci jednotlivých zemí referovali o národních programech termojaderného výzkumu pomocí malých tokamaků, měla celá konference skutečně pracovní charakter. Cílem *Mezinárodní atomové agentury* je poskytovat tomuto programu podporu, a to v této fázi především morální — zdůrazněním důležité úlohy malých tokamaků jako nutného optimalizačního článku mezi teoretickými myšlenkami a jejich využitím na velkých zařízeních, jejichž cena je zhruba o dva řády vyšší a dosahuje dnes již stovek milionů dolarů. Za tímto účelem bylo předneseno několik referátů pozvaných odborníků, probírajících přehledným způsobem všechny dílčí problémy, jejichž řešení se od malých tokamaků

očekává. Dále se diskutovalo o pomoci organizační, spočívající jak v pořádání společných informačních akcí, tak i ve vybudování experimentálního školicího centra s vlastním tokamakem. Celým jednáním se nesla myšlenka o nutnosti hledat nové ideje, rychle je ověřovat a vyhýbat se plýtvání sil dublováním programu velkých tokamaků. Řešení otázky řízené termojaderné syntézy je mimořádně obtížná úloha, skutečně největší, před jakou kdy lidstvo během své existence stálo. Každý, kdo se k jeho hledání připojí, je vítán. Tak vyzněl závěr obou budapeštských akcí.

Jan Stöckel, František Žáček  
*Ústav fyziky plazmatu ČSAV, Praha*

Došlo 1. 11. 1985.

### **Eurofyzikální studijní konference o syntéze a struktuře exotických jader a atomů**

Varna, Bulharsko, 15.—19. září 1985

V letovisku Albena u Varny proběhla za účasti více než 100 fyziků ze 17 států pod řízením prof. Armbrustera (*GSI Darmstadt*, NSR) 7. eurofyzikální studijní konference o jaderné fyzice, věnovaná syntéze a struktuře exotických jader a atomů. S výjimkou Československa, z něhož jsem byl jediným účastníkem, byly všechny ostatní evropské státy RVHP (započítáme-li i *SÚJV Dubna*) zastoupeny nejméně 4 pracovníky.

Přednášky se zabývaly strukturou těžkých jader, fúzí nejtěžších prvků, novými způsoby rozpadu jader, jádru daleko od linie stability a vývojem experimentální techniky pro studium reakcí s těžkými ionty v předních světových laboratořích. Dvě přednášky byly věnovány otázkám hmotností jader a další dvě elektronovému obalu.

J. F. Sharpey-Schafer (Daresbury) se zabýval interpretací stavů jader s vysokým spinem získaných v systému TESSA. Byly interpretovány rotační pásy až do spinu  $46\hbar$ , pro jejichž

vysvětlení se zavádí druhý a třetí backbending. A. Sobiczewski (Varšava) došel k existenci jader se stabilní oktapólovou deformací: nejvýraznější je v oblasti  $(^{232+236}\text{Ra})$ , druhý „ostrov“ je kolem  $^{146}\text{Ba}$ .

J. Błocki (Varšava) studoval dynamické překážky fúze jader v rámci Rayleighových-Langrangeových pohybových rovnic. J. C. Oganessian (Dubna) podal přehled pokusů o vytvoření nejtěžších prvků v *SŮJV* a G. Münzenberg (Darmstadt) proslovil obdobnou přednášku o stavu v *GSI*. Zatím nejtěžším syntezovaným prvkem zůstává  $^{266}\text{109}$ , jehož v *GSI* získali jen jediný atom a identifikovali pomocí řetězce  $\alpha$  rozpadů. Pokusy o syntézu prvku 110 zůstávají zatím neúspěšné, horní hranice účinného průřezu je řádu  $10^{-40} \text{ m}^2$ . R. Simon (Darmstadt) prezentoval první výsledky studia vysokoenergetických  $\gamma$  spekter asociovaných s vytvořením složeného jádra  $^{180}\text{Hg}$  v reakci  $^{90}\text{Zr} + ^{90}\text{Zr}$ .

Přednášky P. B. Pricea (Berkeley) a E. Hourani (Orsay) uváděly existenci  $^{14}\text{C}$ - a  $^{24}\text{Ne}$ -radioaktivity izotopů Ra, Pa a U, již potom interpretovali A. Săndulescu a D. Poenaru (oba Bukurešť) teoretickými výpočty na základě dostupných fázových objemů. Další příklady exotických způsobů rozpadu jader byly pozorovaná protonová radioaktivita jader v oblasti  $A \approx 110$  (A. Gillitzer, Mnichov) a úvahy o možné dvouprotonové radioaktivitě  $^{31}\text{Ar}$  (D. Guillemand-Müller, Caen). Neobvyklé nové izotopy byly zastoupeny jak nejlehčími ( $^6\text{H}$ , C. Borcea, Dubna), tak i celou řadou v oblasti středních hmotností ( $^{35}\text{Ca}$ ,  $^{31}\text{Ar}$ ,  $^{27}\text{S}$ ,  $^{23}\text{Si}$  aj., D. Guillemand-Müller) a rovněž těžkými izotopy známých těžkých prvků ( $^{243,244,244\text{m}}\text{Np}$  a  $^{260}\text{Md}$ , M. Schädel, Darmstadt).

Nejzajímavější z projektů stavby nových zařízení byl pravděpodobně akumulární prstenec těžkých iontů, o němž hovořil P. Kienle (Darmstadt). Schválený projekt předpokládá urychlování iontů ( $^{12}\text{C} \div ^{238}\text{U}$ ) včetně radioaktivních jader s vysokým stupněm ionizace (i úplně ionizované ionty  $\text{U}^{92+}$ ) na energie do  $(1 \div 2) \text{ GeV/A}$  při proudtech ( $10^8 \div 10^{12}$ ) jader/s [akumulovaný proud ( $10^{14} \div 10^{16}$ ) jader/s]. Zařízení má být dáno do provozu koncem osmdesátých let a bude se využívat pro jadernou a atomovou fyziku, fyziku plazmatu i aplikace.

Konference byla zakončena diskusí u kulatého stolu, již se zúčastnili představitelé vedoucích laboratoří těžkoiontového výzkumu i ostatní účastníci konference.

Na závěr J. Blomqvist (Stockholm) oznámil další eurofyzikální konferenci, jež se bude konat za rok a bude věnována struktuře studených jader. Jejím hlavním organizátorem bude opět *Ústav jaderné fyziky a jaderné energie Bulharské akademie věd*. Zbývá jen doufat, že zastoupení Československa na ní bude výraznější než letos.

Emil Běták

*Fyzikálny ústav CEFV SAV, Bratislava*

Došlo 13. 11. 1985.

## 17. evropská konference o interakci laserového záření s látkou (ECLIM 17)

Řím, 18.—22. listopadu 1985

Konference ECLIM jsou zaměřeny na problematiku studia vysokoparametrového plazmatu generovaného laserem a na vývoj potřebných laserových systémů. V uvedené oblasti jsou snad nejvýznamnější světovou pravidelnou akcí, na které jsou tradičně zastoupeny i všechny významné mimoevropské laboratoře.

17. zasedání konference uspořádala v Římě *ENEA — Centro di Ricerche Energia*, Frascati, Řím (hlavní organizátor Angelo Caruso). Jednání se zúčastnilo asi 130 odborníků z Evropy, USA, Japonska, Kanady, Austrálie a Izraele. Ze socialistických zemí byly zastoupeny SSSR, PLR, NDR a ČSSR, kterou reprezentovala šestičlenná delegace pracovníků *FJFI ČVUT*.

Jednání proběhla ve čtyřech dopoledních a čtyřech odpoledních zasedáních a ve čtyřech vývěskových sekcích; součástí konference byla i půldenní návštěva pořadatelské laboratoře a dvě společenské akce — koktejl a slavnostní večeře. Bylo předneseno 18 pozvaných referátů věnovaných převážně přehledu práce nejvýznamnějších laboratoří a konstrukci nových laserových systémů. Dále bylo prezentováno asi 40 kratších sdělení a 55 vývěsek; naše delegace byla zastoupena čtyřmi příspěvky.

Konference podala přehled současného stavu i aktuálních trendů rozvoje problematiky. Nejzajímavější výsledky přinesla v následujících tematických oblastech: imploze terčů krátkovlnnými lasery; rentgenovské vyzářování a radiační transport energie ve vysokoparametrovém plazmatu; nové diagnostické metody.

Imploze terčů krátkovlnnými lasery o vlnové délce  $\lambda \simeq (0,2 \div 0,5) \mu\text{m}$  se dnes stala osou úsilí o demonstraci termojaderné fúze iniciované laserem. Příznivý průběh interakce krátkovlnného laserového záření s plazmatickou korunou (vysoká absorpce  $\gtrsim 50\%$ , hydrodynamická účinnost  $\gtrsim 10\%$ , zanedbatelný předohřev paliva rychlými elektrony) je dostatečně prověřen. Všeobecně se uznává, že právě tyto lasery zabezpečí zapálení termojaderného hoření při zvětšení energie laseru asi na  $(50 \div 100) \text{ kJ}$  (snad již v systému Nova dokončovaném v Livermoru, USA).

Nejpřesvědčivější výsledky jsou v současné době dosahovány na nedávno dokončeném Nd systému Gekko XII v japonské Osace. Laser pracující na vlnové délce  $\lambda = 0,53 \mu\text{m}$  má energii  $10 \text{ kJ}$  v nanosekundovém tvarovaném pulsu. Byla demonstrována stabilní komprese tenkostěnných slupkových terčů o vysokém aspektu (tj. poměru poloměru terče k tloušťce slupky) plněných DT směsí. Při tom bylo zaregistrováno až  $1,25 \cdot 10^{12}$  termojaderných neutronů na jeden výstřel laseru.

Perspektivnost krátkovlnných laserů stimuluje též rozvoj excimerového KrF laseru. Jeho největší problém — příliš dlouhý puls — byl překonán pomocí technologie zkracování pulsu založené na proměnné optické dráze různých částí svazku mezi laserem a terčem. V terčích experimentech je používán ve Velké Británii a v Kanadě; v Los Alamos, USA, se připravuje k nasazení KrF laser s energií  $10 \text{ kJ}$  (systém Aurora).

Výsledky měření rentgenovského vyzářování plazmatu potvrdily možnost velké (až  $80\%$ ) účinnosti přeměny absorbované energie laserového záření na energii rentgenového (rtg) záření. Rtg záření se významně podílí na přenosu energie z korony do terče, dokonce i v terčích z lehkých materiálů existuje vrstva, kde radiační transport energie dominuje nad elektronovým. Intenzivně je experimentálně i teoreticky zkoumána expanze fólií ohřivaných

rtg zářením generovaným v laserovém plazmatu. Cílem těchto prací je prověření ideje nepřímé fúze (radiačně determinovaných terčů), kde se ve vnější slupce mění energie laserového záření na energii rtg záření: to ohřívá vnitřní slupku, která stlačuje termojaderné palivo. Výhodou tohoto přístupu jsou malé požadavky na symetrii ozáření terče laserem.

Zájem o studium rtg záření je motivován i aplikací vysokoparametrového plazmatu jako intenzivního bodového zdroje pro rentgenovskou litografii, mikroskopii a EXAFS s vysokým časovým rozlišením. Vysokoparametrové plazma je i možným aktivním prostředím rentgenovského laseru, v několika laboratořích bylo dosaženo stimulovaného zesílení měkkého rtg záření v laserovém plazmatu.

Za povšimnutí jistě stojí i rychlý rozvoj diagnostického vybavení experimentu, běžnou se například stává i rtg spektroskopie se subnanosekundovým až pikosekundovým časovým rozlišením. Z nově navržených diagnostických metod zaznamenáváme použití bolometru pro měření celkového výtěžku rtg záření, diagnostiku pomocí celých spektrálních sérií založenou na rozlišení a překrytí čar vysokých řádů, iontový spektrometr kombinující Faradayův kalíšek a Thomsonovu parabolu a návrh neutronové diagnostiky pomocí kódované apertury.

Vybrané referáty prezentované na ECLIM 17 budou v r. 1986 publikovány ve zvláštním čísle časopisu *Laser and Particle Beams* (Cambridge University Press, Cambridge, U.K.).

Zajímavou částí programu byla návštěva pořadatelské laboratoře. V oddělení laserového plazmatu je zde instalován malý dvousvazkový laserový systém na Nd skle s energií do  $50 \text{ J}$  v každém svazku. Laserový systém umožňuje energeticky účinnou konverzi frekvence na druhou harmonickou. Obsahuje i dekoherenční systém sloužící ke zlepšení homogenity intenzity uvnitř laserových svazků. Interakční komora ve tvaru koule o průměru asi  $1 \text{ m}$  je vybavena nejzákladnější rentgenovskou a částicovou diagnostikou. Vedle pasivní optické diagnostiky je prováděna i diagnostika aktivní (interferometrie, stínová fotografie apod.) pomocí diagnostického svazku na posunutě vlnové délce druhé harmonické Nd laseru. Poča-

datele ukázali účastníkům konference i výkonný kryogenní tokamak FTU, laser pracující na volných elektronech a buzený mikrotronem i pracoviště vyvíjející LIDAR s použitím CO<sub>2</sub> laseru.

Konference probíhala v příjemném pracovním ovzduší. Nepřinesla žádné nové překvapující koncepce, položila spíše důraz na postupné propracování stávajících přístupů. V současné době je program zaměřený na demonstraci laserové termojaderné fúze soustředěnou na několika nejvýznamnějších laboratořích v ekonomicky nejsilnějších zemích. Ukazuje se ale, že i malé laboratoře vybavené jednosvazkovými systémy mohou přinést užitečný příspěvek k výzkumu vysokoparametrového plazmatu, zvláště při studiu přenosu energie, rentgenovského vyzařování plazmatu a rozpracování diagnostických metod. Uvedené směry jsou i základem československého výzkumu v oblasti laserového plazmatu.

Uznáním našemu výzkumu je konání další konference (ECLIM 18) v Československu, v Praze, ve dnech 4. — 8. 5. 1987.

Ladislav Drška, Jiří Limpouch  
Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská  
ČVUT, Praha

Došlo 14. 1. 1986.

### Poznátky z mezinárodního sympózia vo Fukuoke a z výzkumu supravodivých materiálů v Japonsku

Fukuoka, Japonsko, 11.—14. listopadu  
1985

„The International Symposium on Flux Pinning and Electromagnetic Properties in Superconductors“ (Fukuoka, 11.—14. 11. 1985) malo vyše 100 účastníkov, z toho 23 zo zahraničia (I. Hlásnik a S. Takács z EÚ CEFV SAV ako jediní zo socialistických štátov). K tradičnej téme predchádzajúcich škôl a sympózií o pinningu (Göttingen 1974, Piechowice 1979, Göttingen 1982) pribudli aj iné elektromagnetické vlastnosti supravodičov.

Najdôležitejšou z týchto sa ukázal výskum supravodičov s veľmi tenkými supravodivými vláknami, v ktorých sa prelínajú rozmerové a povrchové javy a jav blízkosti medzi supravodičom a normálnymi oblasťami. V tejto oblasti sa na EÚ CEFV SAV v spolupráci s FTI AN USSR v Donecku dosiahli zaujímavé a významné výsledky, ktoré boli ocenené aj na tomto sympóziu.

Predseda mezinárodného organizačného výboru Prof. Irie vyzdvihol návaznosť výskumu pinningu a kritických prúdov v supravodičoch s praxou, čo viedlo k zaradeniu referátov aj aplikatívneho zamerania. Odznelo 10 pozvaných prednášok, z 59 pôvodných prác bolo 23 vo forme vývesiek. Zborník vyšiel v marci 1986 (Red. T. Matsushita, K. Yamafuji, F. Irie). Hlavné témy boli:

1) Všeobecná teória pinningu: sumácia zachytných síl, mechanizmy pinningu, teória kolektívneho pinningu, simulácia na počítačoch. Zahnutie porúch mriežky vírov (hlavne dislokácií) do teórie je iba v začiatkoch.

2) Experimentálne výsledky: vytvorenie jednoznačných súvislostí s parametrami teórie, vytvorenie dobre definovaných štandardných meraní, existencia škálovacích pravidiel pre pinningovú silu alebo kritickú prúdovú hustotu  $j_c$ .

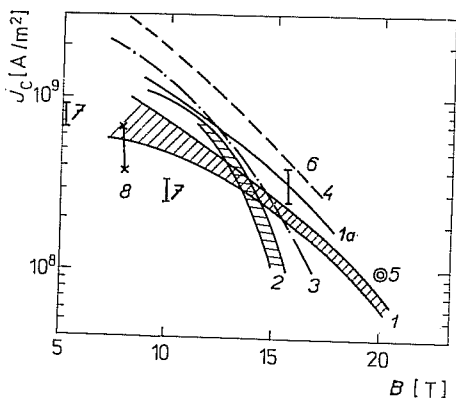
3) Technologické problémy: možnosti zvýšenia  $j_c$  (hlavne pre pinning na rozhraniach zrn, ktorý je rozhodujúci pre prakticky dôležité supravodiče typu A-15). Značný pokrok sa dosiahol vo výskume mnohovláknitých Nb<sub>3</sub>Sn s prímiesami a ďalších A-15 supravodičov. Najperspektívnejšou technológiou sa javí ožarovanie laserom alebo elektrónovým lúčom s dostatočným prežiháním pre Nb<sub>3</sub>Al a Nb<sub>3</sub>.(AlGe), ktorá dovoľuje dosiahnuť produkčné rýchlosti okolo (10 ÷ 20) m/min.

4) Longitudinálne magnetické polia: tzv. bezsilová konfigurácia vírov, presekávanie sa vírov („flux-cutting“).

5) Veľmi tenké supravodivé vlákna: dosahujú sa rôznymi spôsobmi. Významný pokrok pri znížení rozmerov vlákien NbTi sa dosiahol hydroextrúziou i ťahaním za studena. Pri veľmi tenkých vláknach (s priemerom pod 0,1 μm) je však veľkým problémom zamedzenie elektromagnetickej väzby medzi vláknami, čo je predpokladom úspešného využitia v strie-

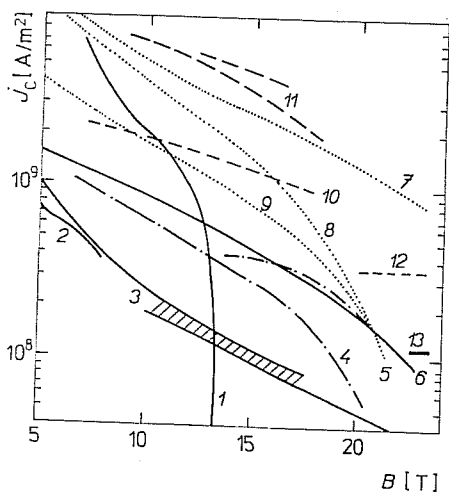
davých poliach. Pre bronzové, práškové i „in situ“ technológie sú problémy ešte markantnejšie.

Pozvanie organizátorov sympózia sme využili na návštevu niekoľkých významných pracovísk v oblasti supravodivých materiálov a ich aplikácií. Rozsah aplikácií supravodivosti v Japonsku i v rámci medzinárodných programov je značný (termojadrová syntéza, urýchlovače, generátory, diaľkový prenos a akumulácia energie, NMR tomografy, supravodivé počítače). Tu iba heslovite vymenujeme skúmané materiály a najdôležitejšie výsledky. Keďže  $j_c$  vysokopoložových supravodičov sú zhrnuté na obr. 1 a 2, v ďalšom sa zameriame na ostatné parametre supravodičov.



Obr. 1. Závislosť „strednej“ kritickej prúdovej hustoty  $j_c$  (počítaná na prierez celého vodiča) od magnetického poľa pre vodiče  $Nb_3Sn$ . 1 — priemyselne vyrábané  $Nb_3Sn$  s prísadami (hlavne Ti): *NRIM, Furukawa, Hitachi, Kobe Steel, Sumitomo*; 1a — špičkový vodič  $(Nb-Ti)_3Sn$ : *NRIM*; 2 — metóda „in situ“ s prísadami Ti, Ta: *Sendai*; 3 — metóda solid-liquid: *ETL — Sumitomo*; 4, 5 — tzv. infiltračné technológie (kombinácia žihania, spiekania, stlačania): *Toshiba — Showa*; Na porovnanie: 6 — prášková metóda (*Göttingen*); 7, 8 — bronzová metóda (bez prímеси): *EÚ CEFV SAV Bratislava, resp. SVÚM Praha*.

*Tohoku University, Sendai.*  $Nb_3Ge$ : vyrobené naprašovaním ( $B_{c2} \approx 33,3$  T,  $T_c \approx 23$  K) a chemickou depozíciou — CVD (v statickom režime, kontinuálna aparátúra sa pripravuje).  $Nb_3Sn$ : prášková, bronzová i „in situ“ technológia, všetky aj s prísadami (hlavne Ti, Ta).



Obr. 2.  $j_c(B)$  charakteristika ďalších vysokopoložových supravodičov. a) Priemyselne vyrábané vodiče ( $j_c$  stredné): 1 —  $NbTi + Ta$  (alebo Hf) pri 1,8 K; 2 — tenkovláknité  $NbTi$ ; 3 —  $PbMo_6S_8$ ; 4 —  $V_3Ga$  — bronzová technológia, 5 —  $V_3Ga$  — dvojité tepelné spracovanie, 6 —  $V_2(Hf, Zr)$  pri 1,8 K. b) Vodiče vo výskume ( $j_c$  na supravodivú vrstvu): 7 — naprašovaný  $Nb_3Ge$  (*Sendai*), 8 — kontinuálne CVD (*ETL*), 10, 11 — rýchlo schladené  $Nb_3Al$ , resp.  $Nb_3AlGe$  (*NRIM*), 12 —  $Nb_3Al$  žihávaný laserom a tepelne spracovaný (*NRIM*), 13 —  $NbN$  magnetronovým naprašovaním (*Sendai*) v 26 T, ako aj  $Nb_3Ge$  (7) v 30 T. c) Na porovnanie: 9 —  $Nb_3Ge$  pripravený kontinuálne CVD na *EÚ CEFV SAV Bratislava*. Zdá sa, že nedostatkom československých supravodičov ( $Nb_3Sn$  i  $Nb_3Ge$ ) je pomerne nízke horné kritické magnetické pole  $B_{c2}$ .

$Nb_3AlGe$ : naprašovaním.  $NbTi$ : výskum základných parametrov.  $NbN$ : naprašovanie na uhlíkové vlákna (priemer 5  $\mu m$ ), žihanie laserom a rýchle chladenie,  $T_c \approx 15$  K, hrúbka  $\approx 100$  nm. Výskum perspektívnych i hypotetických supravodičov ( $Nb_3Si$ : epitaxia na  $Ti_3Au$ , A-15 štruktúra s  $T_c \approx 3$  mK;  $MoN$ : reaktívne naprašovanie na podložku  $NbVN$ , B1 štruktúra s  $T_c \approx 4$  K;  $V_3Al$ : žihanie amorfnej vrstvy laserom a tepelné spracovanie, A-15 štruktúra s  $T_c \approx 12$  K;  $V_3In$ : naprašovanie na podložku  $V_3Ga$ , pokus o substitúciu  $Ga-In$ , zatiaľ neúspešne). Amorfny  $Zr-Si$ : sledovanie stupňa amorfizácie,  $T_c \approx 3$  K.

*National Research Institute for Metals (NRIM), Tsukuba.*  $Nb_3AlGe$  a  $Nb_3Al$ : rýchlym chladením na medenú podložku (perspektívna technológia).  $Nb_3AlGe$ ,  $Nb_3Al$  a  $Nb_3Ga$ : ožarovanie laserovým a elektrónovým lúčom (práškovou metalúrgiou vytvorené, ožiarené a vyžíhané vzorky dosahujú  $T_c$  vyššie ako najlepšie naprašované!).  $V_3Ga$ : neustále vylepšovanie parametrov (známy magnet na 17,5 T s vnútornou sekciou z  $V_3Ga$  pracuje bez problémov už vyše 9 rokov).  $Nb_3Ge$ : CVD (výsledky zatiaľ priemerné).  $V_2(Hf, Zr)$ : mnohovláknitý vodič, necitlivý na žiarenie a mechanické namáhanie, perspektívny pri 1,8 K, kde  $B_{c2} \approx 29$  T. P (čierny) pri zvýšenom tlaku:  $T_c \approx 11$  K. Obširne sa skúmajú aj kryogénne materiály (hlavne Ti a jeho zliatiny).

*Electrotechnical Laboratory (ETL), Tsukuba.*  $Nb_3Sn$ : metóda solid-liquid (magnet pre akumuláciu energie) a ťahanie vlákien v  $Al_2O_3$  (hrúbka vlákien  $\approx 1 \mu m$ ).  $Nb_3Ge$ : kontinuálna aparatúra CVD.  $PbMo_6S_8$ : technológia ako v Nagaoka. MoN: naprašovaním,  $T_c \approx 15,8$  K (hypoteticky  $\approx 25$  K). NbN: vytváranie logických elementov.  $(BEDT-TTF)_2I_3$ : organický supravodič s  $T_c = 8$  K. Existujúci napäťový normál na základe Josephsonovho javu sa nahrádza normálom na základe kvantového Hallovoho javu.

*Technical University, Nagaoka.*  $PbMo_6S_8$ : ťahanie v Mo trubici (Mitsubishi už ponúka vodič s Ta bariérou a Cu stabilizáciou),  $B_{c2} \approx 45,2$  T. NbN: vytváranie Josephsonovských štruktúr.

*Kyoto University.*  $Nb_3Sn$  s prímiesami: tepelné spracovanie pod vysokým tlakom.  $Nb_3Al$ ,  $Nb_3AlGe$ ,  $Nb_3Ge$ : oblúčková tavba. Výskum vlastností materiálov po ožiarení (hlavne neutrónmi).

*Kyushu University, Fukuoka.*  $(Nb-Ti)_3Sn$ : vysokopoložný magnet pre zrkadlový systém MFTFB (spoločne s firmou *Furukawa*).  $Nb_3Ge$ : metódou CVD.  $Nb_3Sn$ : metódou „in situ“. Výskum supravodičov, logických obvodov a pamätí pre počítače. Veľkým problémom sú vraj parazitné zamrazené magnetické toky následkom termomagnetických javov pri schladzovaní väčších celkov.

Prekvapilo nás nielen množstvo tém a skúmaných materiálov, ale hlavne to, že rovnaké technológie (dokonca na rovnakých materiá-

loch) sa skúmajú na viacerých pracoviskách. Spolupráca je však výborná, nepobadali sme ani náznaky nevraživosti, neprajnosti, alebo dokonca zaznávania výsledkov druhých (zrejme to súvisí aj s príslovečnou japonskou zdvorilosťou).

Niektoré z navštívených pracovísk boli vybavené technologickými, štruktúrálными a meracími zariadeniami na naše pomery takmer luxusne, napr. Sendai, ETL (napriek tomu všade tvrdili, že v Japonsku sú bohaté iba priemyselne výskumné ústavy), ani podstatne chudobnejšie vybavené ústavy (napr. Fukuoka) sa však výsledkami nedajú zahanbiť. Pomerne dlhé sú dodacie lehoty sériovo vyrábaných prístrojov a zariadení. Objednávky na konštrukčne navrhnuté nové zariadenia však podniky veľmi ochotne berú, lebo ich využívajú na ďalšie vzdelávanie a výcvik svojich pracovníkov. Záujem výrobných podnikov o výsledky výskumu supravodivých materiálov je neobvyklý. V súčasnosti takmer všetky známejšie podniky sa zaoberajú aj výrobou supravodičov a supravodivých zariadení (*Mitsubishi, Fuji, Toshiba, Hitachi, Showa, Furukawa, Sumitomo, Kobe Steel*).

Po úspechoch supravodičov NbTi v dôležitých aplikáciách (urýchľovače, termojadrová reakcia, NMR tomografie a spektrometre) sú v súčasnosti vyrábané supravodiče spoľahlivým základom ďalšej významnej etapy v aplikáciách supravodivosti. V blízkej budúcnosti možno očakávať výrazné prerazenie nielen v laboratórnych magnetoch pre veľmi vysoké polia (v hybridných systémoch do polí nad 40 T, v čisto supravodivých až nad 25 T), ale hlavne vo využití  $Nb_3Sn$  pri vytváraní jednosmerných i pulzných magnetických polí (supravodivé NMR tomografie, urýchľovače, termojadrová reakcia — tokamaky i zrkadlové systémy, akumulátory energie). Zvláštnu kapitolu tvoria systémy so supertenkými vláknami (priemer pod  $0,1 \mu m$ , zatiaľ hlavne NbTi), ktorých využitie pri priemyselných frekvenciách sa javí taktiež sľubným (hlavne vodiče firiem *Alstom*, Francúzsko a *Showa, Sumitomo, Furukawa*).

Silvester Takács

*Elektrotechnický ústav CEFV SAV,  
Bratislava*

Došlo 4. 2. 1986.



#### 4. evropské sympozium o polovodičových detektorech ionizačního záření

Mnichov, 3. až 5. březen 1986

Ve dnech 3. až 5. března 1986 pořádal v Mnichově *Max-Planck Institut für Physik und Astrophysik* pro 130 pozvaných účastníků z celého světa sympozium o polovodičových detektorech záření (Fourth european symposium on semiconductor detectors: New developments in radiation detectors). Základním posláním sympozia bylo zveřejnit a diskutovat výsledky dosažené v této oblasti od předcházejícího obdobného setkání v Mnichově v roce 1983 (sborník byl uveřejněn v časopise *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research* 226 (1984)).

Všechny přednášky byly uskutečněny v plenárních zasedáních, jež byla tematicky rozdělena na sedm sekcí: technologie detektorů, nové typy detektorů, detektory z nestandardních materiálů, integrovaná detekční elektronika, stabilita zařízení a radiační odolnost, nová použití, informace o průmyslové výrobě. V těchto sekcích byly pravidelně předneseny úvodní přehledné přednášky (třiceti- nebo čtyřicetiminutové) a pak jednotlivé patnáctiminutové příspěvky o původních výsledcích. Další účastníci měli možnost zveřejnit své výsledky formou vývěsek.

Po celou dobu sympozia byla v prostorách před přednáškovým sálem konána výstava detektorů a částí snímací elektroniky, které jsou v současné době obchodně dostupné. Zastoupena byla řada západoněmeckých, amerických, anglických a japonských firem.

Ve velké většině byla projednávána problematika křemíkových detektorů. Zřetelný současný celosvětový trend představuje především maximální možné využití dostupných průmyslových technologií, a to jak v oblasti snímací elektroniky, tak při vývoji a zhotovování samotných detektorů. Hlavní pozornost je věnována technologickým otázkám, fyzikální výklad jeví se sledován v podstatně menší míře. Pro současný rozvoj problematiky poskytují mohutné impulsy jednak rozšiřující se možnosti průmyslových technologií, jednak rostoucí požadavky na detekční systémy, především z oblasti fyziky vysokých energií. Miniaturizace

snímací i vyhodnocovací elektroniky vede v současné době k vývoji systémů obsahujících tisíce detekčních elementů v různých geometrických uspořádáních, např. válce.

Základem těchto vysoce integrovaných detekčních systémů jsou ve většině případů stripové detektory. Problematika potřebných planárních technologií včetně povrchové pasivace je považována za vyřešenou (na trhu jsou stripové detektory nabízeny již od tisíce US dolarů), v současné době jsou podrobně sledovány pracovní charakteristiky stripových detektorů (např. radiační poškození, rozložení pole v detektoru apod.). Předmětem výzkumu jsou především dva další typy integrovaných křemíkových detektorů: zvýšení citlivosti detekce a rychlosti odečítání záznamu u CCD matic a studium technologických i detekčních podmínek u křemíkové driftové komory. Kromě vývoje polohově citlivých detektorů byly v několika příspěvcích ukázány i možnosti vývoje „klasických“ monolitických křemíkových detektorů.

V naprosté většině případů byl jako materiál pro detektory použit vysokoodporový monokrystalický křemík. V několika příspěvcích byly uvedeny výsledky dosažené s amorfním křemíkem, jodidem rtuťnatým a arsenidem galia.

Je potěšitelné, že při vysoké úrovni příspěvků z předních světových pracovišť vzbudily širší pozornost přednesené výsledky československého výzkumu, které byly také zahrnuty do závěrečného hodnocení přínosů sympozia.

Richard Tykva

*Ústav organické chemie a biochemie ČSAV,  
Praha*

Došlo 18. 4. 1986.

#### Zpráva o 3. jarním zasedání Materials research society (MRS)

Od roku 1984 se konají v USA dvakrát do roka pravidelná setkání *MRS* (na jaře a na podzim). 3. jarní zasedání této společnosti se konalo v letošním roce 15.–19. dubna v městečku Palo Alto v Kalifornii, přibližně 60 km jižně od San Franciska. Zatímco prvního zasedání,

kteřé probíhalo ve 4 sympoziích, se zúčastnilo 133 odborníků, v letošním roce bylo přihlášeno 590 referátů a zasedání probíhala v 10 sympoziích. Účastníci byli především z pracovišť v USA, Japonsku a západní Evropě. Vedle jednání v sympoziích byly připraveny krátké speciální kurzy, které probíhaly na vybraných pracovištích v USA. Kurzy byly jedno až třídní a bylo jich celkem 16. Každý, kdo zaplatí konferenční poplatek (v letošním roce byl 155 US \$), se stává na jeden rok členem MRS se všemi právy, které členství přináší. Je to například roční předplatné *Journal of Materials Research*, resp. *MRS Bulletin*, nebo možnost 20 až 40% slevy na konferenční materiály ap.

Na sympoziích byli účastníci informováni o nových materiálech, nových technologiích přípravy, popřípadě o nových teoretických a experimentálních poznatcích souvisejících s optimalizací známých metod přípravy materiálů pro mikroelektroniku jak z hlediska ekonomiky a energetické náročnosti, tak z hlediska čistoty, dokonalosti materiálů nebo elektrických či mechanických vlastností. Hlavní pozornost byla věnována mikrostruktúře povrchů a fázových rozhraní, výpočtům mezimolekulárních sil a stavů defektů nebo atomů na povrchu. Studuje se kinetika fázové transformace v nerovnovážných podmínkách (rychlé chlazení, laserové žíhání ap.).

Jednotlivá sympozia byla věnována následujícím problémům (v závorce počet referátů): A: Technologie heteroepitaxe na Si (29), B: Směsné polovodičové materiály (49), C: Plazmové technologie (71), D: Charakterizace materiálu (71), E: Materiálové otázky v technologii amorfních polovodičů (118), F: Materiálové otázky v přípravě křemíkových integrovaných obvodů (80), G: Materiálový výzkum v elektronických obalech (40), H: Lepší keramiky chemickou cestou (114), I: Materiály pro chemické senzory (12), X: Vývoj materiálového výzkumu (6).

Z velkého množství referátů, jež byly zaměřeny převážně aplikačně, lze vysledovat v jed-

notlivých sekcích následující hlavní oblasti zájmu:

A: studují se vlastnosti GaAs na Si a způsoby přípravy GaAs; B: technologie epitaxe z par a kapalin II—VI směsných polovodičů; růst velkých krystalů GaAs; C: plazmatické leptání křemíku, plazmatické zpracování povrchů; D: mikrostruktura povrchů; optické a elektrické vlastnosti poruch; E: poruchy a transport v amorfním Si; výpočty poruch *ab initio*, studium dangling-bond defektů v a-Si : H; amorfni tenké vrstvy Si, fotoreceptory, sluneční cely, supermřížky (a-Ge : H/a-Si : H ap.); F: studium difúze dopantů, defektů; kinetika rekrystalizace v amorfních Si, iontová implantace, rychlé temperování (laserem); H: studuje se nukleace a kinetika růstu, vývoj struktury pevné fáze na molekulární úrovni spektroskopickými metodami; srovnávají se výhody nové metody pěstování keramik oproti tradičním metodám tuhnutí z taveniny; nové materiály chemickou cestou, např. SiO<sub>2</sub>—TiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>—ZrO<sub>2</sub> ap; X: na tomto sympoziu, které je již tradičně velmi oblíbeno, byly prezentovány přednášky pro nespecialisty seznamující srozumitelnou formou s nejnovějšími problémy a úspěchy materiálového výzkumu; byly diskutovány problémy fyziky koloidů, epitaxe, vysokoteplotních polovodičů ap.

Podrobnější rozbor výsledků 3. jarního setkání MRS podávám v článku v časopise *Věda a technika v zahraničí* (1986).

Setkání bylo velmi dobře organizováno. Přednášky probíhaly v prostorách hotelů Hyatt Ricketys a Hyatt Palo Alto, kde byla většina účastníků také ubytována. K dobré organizaci patřila i nabídka materiálů z dřívějších setkání a prodej knih vztahujících se k dané problematice. Příští (podzimní) setkání MRS se koná 1.—6. 12. 1986 v Bostonu.

Zdeněk Chvoj  
Fyzikální ústav ČSAV, Praha

Došlo 10. 6. 1986.