

D. Allan Bromley

Hranice fyziky a jejich role ve společnosti [Pokračování]

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie, Vol. 26 (1981), No. 2, 61--69

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/138652>

Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 1981

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>

Hranice fyziky a jejich role ve společnosti*)

D. Allan Bromley, New Haven, USA

Na obr. 17**) jsou zjednodušeně znázorněny základní problémy, na něž přitom narážíme: požadavky dosažení teploty řádově stovek miliónů stupňů a současně s tím tlaku desítek mil. liber na čtvereční palec přinášejí technické problémy nebývalých rozměrů.

Všeobecně se předpokládá, že počátek jaderné fúze lze jednoduše charakterizovat tzv. Lawsonovým kritériem $n\tau \sim 10^{14}$, kde n je hustota jaderného paliva (v počtu částic na cm^3) a τ je (v sekundách) tzv. doba udržení. Při snahách dosáhnout této hodnoty byl učiněn velký pokrok: zatímco jen před několika lety nedosahovalo žádné zařízení ani její jedné tisícin, dosahuje dnes např. zařízení Alcator na MIT hodnoty $n\tau \sim 3 \cdot 10^{13}$.

Lawsonův vztah okamžitě implikuje dva základní přístupy k jaderné fúzi, které jsou dnes v oblibě. V přístupu, založeném na udržení plazmatu magnetickým polem je relativně řídké plazma stlačováno magnetickým polem po relativně dlouhou dobu (několika sekund), zatímco v druhém přístupu jsou pevné palivové články (velká n) vystaveny působení pulsů energie laserů, elektronových svazků nebo svazků těžkých iontů po tak krátkou dobu, že sama setrvačnost jaderného paliva způsobuje prostorové udržení, nutné pro fúzi. Pro úspěch tohoto přístupu je zapotřebí dosáhnout hustoty palivových kuliček 10 000krát větší než její normální hustota.

Dnes velmi módní toroidní tokomaky, typické zařízení, založené na magnetickém udržení plazmy je na obr. 18. Nedávné výsledky na jednom z tokomaků v Princetonu demonstrovaly možnost dosažení 60 000 000 K, dosud nejvyšší teploty, a co je nejdůležitější, ukázaly také nepřítomnost možných nestabilit plazmy. Ty, pokud by existovaly, by totiž mohly zpochybnit chování nové generace tokomaků, které se dnes stavějí v mnoha zemích a které vycházejí vesměs z předpokladu platnosti Lawsonova kritéria v laboratorních měřítkách. Tato skutečnost ukazuje, že nejsou dosud zvládnuty ani základy vědy o chování plazmatu v extrémních podmínkách zkušebního fúzního reaktoru. Nicméně

*) Druhá část překladu článku D. A. BROMLEYE *The Frontiers of Physics and their Role in Society*, *Physica Scripta* 19 (1979). Přeložili L. HLAVATÝ a J. CHÝLA. První část překladu byla otištěna v minulém čísle, dokončení otiskneme v příštím čísle.

© Physica Scripta 1979.

**) Obr. 17–20 a 23–34 jsou na křídové příloze za str. 90.

fyzikové jsou všeobecně optimističtí pokud jde o možnost dosažení kontrolované jaderné fúze do r. 1980. Přechod od demonstrace ke skutečnému fúznímu reaktoru ovšem nebude ani zdaleka triviální. Doby života, vypočtené pro případ, kdy vnitřní stěny reaktoru jsou z normální nerez oceli, se měří na měsíce a tak věda o materiálu může být docela dobře rozhodující oblastí. Naštěstí nedávné výsledky výzkumu v Oak Ridge, kde byly k simulaci poškození těchto ocelí vyvolané neutrony použity svazky urychlených iontů a jader niklu, ukazují, že vtipné využití příměsi stopových prvků vede ke dramatickému zlepšení jejich mechanické stability, tj. odporu k vydouvání a deformaci.

Nutno však připomenout, že většina diskusí okolo fúzní energie směřuje charakteristiky reakcí d-d a d-T a kombinuje vcelku neomezené zdroje paliva pro d-d fúzi s nízkou teplotou vznícení v případě fúze d-T. (Teploty těchto dvou možností jsou 500 miliónů K pro d-d fúzi a 50 miliónů K pro d-T fúzi.) Všechny fúzní systémy první generace budou používat systém d-T a budou tedy spalovat lithium v reakci $\text{Li}^6(n, \alpha) \text{T}$, v níž se tritium produkuje bombardováním lithia neutrony. Naše prokázané zásoby lithia nejsou ovšem o nic větší než zásoby uranu.

Obr. 19. ukazuje laserový fúzní systém SHIVA, který je nyní v závěrečném stadiu konstrukce v Lawrence Livermore Laboratory v USA. Příkon pulsní energie, dodané v okamžiku zapálení palivové kuličky, umístěné v ohnisku sbíhavých svazků, přesáhne 20 TW. Tvrdilo se dokonce (nepravdivě!), že v tomto okamžiku poblednou všechna světla jihozápadních Spojených států. I zde se zdá, že hlavní problém se týká vědy o materiálu. Při energiích předpokládaných pro fúzní reaktor založený na laserech vykazují velké laserové zesilovače z neodynového skla nepříjemnou tendenci k samodestrukci. Druhý problém, vlastní tomuto přístupu, spočívá v nutnosti dosáhnout – na pikosekundové úrovni – velmi elegantního tvaru laserových pulsů, aby došlo k optimální vazbě optické energie v palivové kuličce. Byly učiněny pokusy, jak tyto těžkosti obejít – např. využít k stlačení a zahřátí palivových kuliček vysokointenzivních elektronových svazků. Ale tím zase vznikly problémy s prostorovým nábojem. Tato cesta až dosud nesplnila původní očekávání.

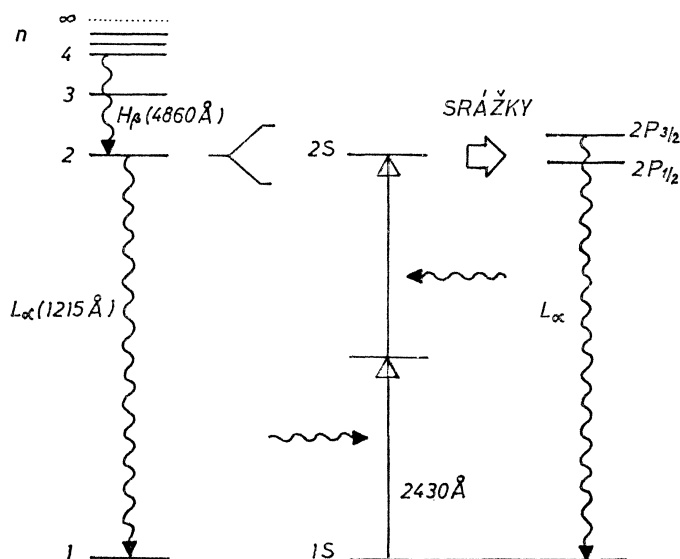
Obr. 20 je fotografií přístroje, které je srdcem ještě dalšího přístupu k fúzi, který se dnes studuje v několika zemích. Stručně řečeno, myšlenka spočívá v použití těžkých iontů, xenonu nebo jódu, urychlených na zhruba 1 GeV a tvarovaných do přibližně sta synchronních pulsů, které jsou fokusovány současně na palivovou kuličku. Toto schéma má svou výhodu, neboť využívá urychlovače a technologii práce se svazky, známé a vyzkoušené ve fyzice částic a jaderné fyzice, a také proto, že se obchází problém vazby dodané energie v palivové kuličce. Ačkoli probíhá několik studií v tomto směru, nebylo žádné takové zařízení dosud zkonstruováno. Musím přiznat, že z přístupů založených na inerciálním udržení je tento přístup mým favoritem.

Je poněkud podivné, že jeden z nerozřešených problémů, obzvláště vážný v magneticky uzavřených systémech, se týká skutečnosti, že i velmi nízká úroveň kontaminace těžkými atomy způsobuje rozptýlení dodané energie od fúzního procesu a otrávení reaktoru. Existující data o účinných průřezích srážkách atomů, vysoce excitovaných stavech těžkých atomů a o atomové fyzice všeobecně, potřebné v zařízeních pracujících s plazmatem se ukazují být nedostatečné a v mnoha případech ani neexistují. Tím přicházíme k atomové a molekulární fyzice.

V. Atomová a molekulární fyzika

Tato oblast pokračuje ve využívání nových obrovských možností daných zkonstruováním laseru a jeho dalším vývojem, který směřuje nejen k velkým frekvenčním rozsahům, ale také k laserům laditelným na danou frekvenci. Atomová fyzika byla vždy charakteristická vysokou přesností svých měření a lasery znovu přispěly značnou měrou k této tradici.

Obrázek 21 ukazuje jeden z nejnovějších směrů vývoje této oblasti, který byl nezávisle navržen skupinami v Moskvě, v Harvardu a na stanfordské universitě. Návrh vychází z faktu, že přesnost měření v atomové fyzice byla vždy omezena dopplerovským rozšířením absorpčních a emisních čar, pocházejícím z tepelných pohybů zkoumaných atomů. Použijeme-li při zkoumání daného atomového stavu místo fotonu jednoho fotonu dva s přesně stejnou energií, které dopadají na atom z opačných směrů, lze tyto dopplerovské



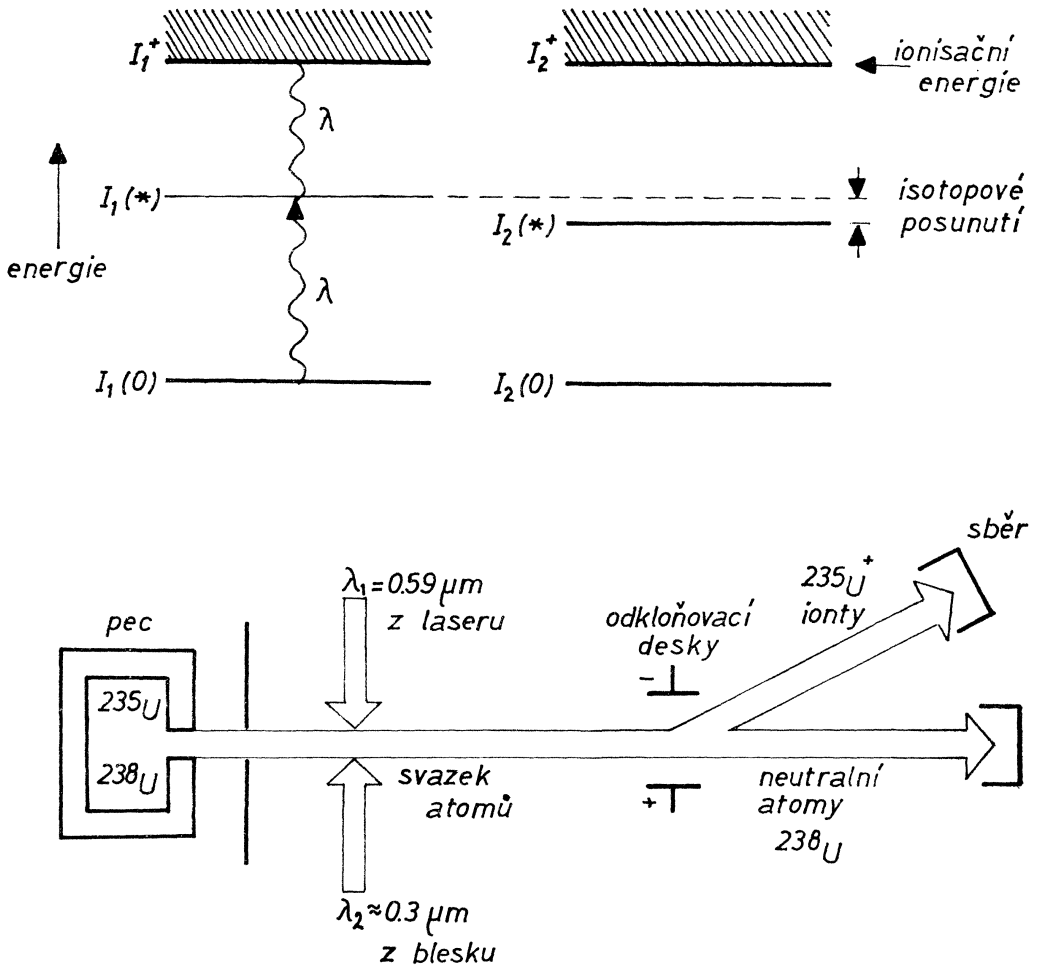
Obr. č. 21. Zjednodušené schéma energetických hladin atomu vodíku. Dvoufotonovou excitací metastabilního stavu 2S ze stavu 1S lze dosáhnout velké rozlišovací schopnosti, zcela určitě lepší než $1 : 10^{15}$. Tuto excitací lze sledovat pozorováním α -fluorescence v Lymanově sérii 2P—1S v ultrafialové spektrální oblasti.

efekty odstranit. Ukázalo se, že tento předpoklad je správný a zdá se, že v atomové spektroskopii lze takto dosáhnout až 10^6 krát větší přesnosti, což znamená přesnost na 15 desetinných míst. Kdykoliv v historii fyziky došlo ke skoku v přesnosti měření (a nemusel být ani tak veliký jako v tomto případě) byly obvykle učiněny naprosto překvapující a revoluční objevy. Jsem přesvědčen, že ani tento případ nebude výjimkou.

Bezprostředním využitím laserů laditelných na určitou frekvenci je obohacování izotopů znázorněné na obr. 22. Tento způsob se nyní vyvíjí v mnoha zemích. Známá posunutí energetických atomových hladin izotopů umožňuje jejich jednoznačné rozlišení a dovoluje selektivní ionizaci a separaci vybraného izotopu jednoduchou fyzikální procedurou. Izotopové separace metodou difúzní nebo odstředivou jsou finančně velmi náročné a vyžadují miliardové investice. Přejichod ke způsobu, který je realizova-

telný ve většině dobře vybavených laboratořích, může mít dalekosáhlé politické a sociální důsledky a dává možnost k uzavírání výhodných mezinárodních smluv a dohod. Obr. 23 ukazuje systém detekce jednotlivých atomů s velkou rozlišovací schopností, který byl vyvinut v Oak Ridge National Laboratories. V tomto systému jsou používány laditelné lasery, které napřed vydělují určené molekuly a z nich pak jednotlivé atomy. Věk elementární atomové chemie je před námi.

Již jsem se zmínil o pokusech hledajících narušení parity v atomech, které jsou pro moderní fyziku velmi důležité. Široké využití atomu jako zkušebního systému základních fyzikálních představ je typické a je na jedné straně důsledkem vysoké dosažitelné přesnosti v experimentální atomové fyzice a na druhé straně toho, že atomová coulombická interakce je nejlépe prostudovanou přírodní silou.



Obr. č. 22. Horní část ukazuje separaci izotopů pomocí laseru. Vhodně vybranou vlnovou délkou, na kterou je laser vyladěn, lze požadovaný izotop excitovat a potom ionizovat. Spodní část zobrazuje návrh speciálního zařízení pro obohacování uranu ^{235}U .

Atomová fyzika samotná v poslední době soustřeďuje svůj zájem na tzv. Rydbergovy atomy, což jsou atomy, ve kterých jsou vhodnou kombinací kolizních excitací a excitací indukovaných laserem elektrony vybuzeny na energetické hladiny mající hlavní kvantové číslo $n \sim 100$. Poloměr elektronové orbity je úměrný n^2 , takže tyto atomy jsou velmi veliké, a kdyby se elektronové dráhy nějak zviditelnily, byly by na hranici pozorovatelnosti pouhým okem. Díky velikosti orbity jsou elektrostatické síly, které vážou tyto vnější elektrony k mateřskému jádru, neobyčejně slabé a jsou jen malým dodatkem interakce těchto elektronů s vnějším magnetickým polem, což je jistý druh inverzního Zeemanova jevu. Rydbergovy atomy se ukázaly být vhodným a mocným objektem pro testování širokého spektra teorií atomové struktury a jejich interakcí.

Ačkoliv Rydbergovy atomy samozřejmě viditelné nejsou, metody vyvinuté v atomové fyzice používají elektronové a iontové mikroskopy se stále se zvětšující rozlišovací schopností. Obrázek 24, získaný v Chicagu, ukazuje jednu z prvních, ne-li úplně první fotografii, zobrazující jednotlivé atomy. V tomto případě se na veliké biologické molekuly „přivěsily“ těžké atomy thoria, které je zviditelnily, i když molekuly samotné viditelné nejsou. Obr. 25 je ilustrací bezprostředního využití třírozměrné hloubkové citlivosti prohlížečského elektronového mikroskopu v biologických pozorováních. Obr. 26 ukazuje též možnosti v materiálovém výzkumu a odhaluje vnitřní krásu mikrokosmu.

Obr. 27 ukazuje berkeleyský objev, ležící na rozhraní atomové fyziky a fyziky pevných látek. Jde o využití laseru k vytvoření excitonového (pár elektron – díra) plynu v germaniovém krystalu a jeho kondenzaci do kapiček mechanickou deformací krystalové mřížky. Kondenzovaný plyn je pozorován registrací nízkoenergetických infračervených fotonů, které vznikají při rozpadu excitonů. Tento pokus nás přivádí k fyzice pevných látek.

VI. Fyzika kondenzovaných látek

Toto je zdaleka největší obor fyziky, ať už měřeno počtem lidí, publikací nebo institucí, které se jím zabývají. Jde také o obor s největším počtem styčných bodů s aplikacemi, což má za následek, že je široce podporován jak v průmyslových, tak i v akademických a vládních laboratořích.

K velkým změnám a k pokroku došlo v posledních letech v oblasti amorfních polovodičů. V minulosti se hlavní důraz ve výzkumu polovodičů kladl na získání co nejdokonalejších monokrystalů, v nichž i velmi malá příměs dopantů – donorů a akceptorů – vede k lokální změně elektrických vlastností. Ačkoli již bylo známo, že i amorfní látky lze použít jako usměrňovače a přepínače, mechanismus odpovědný za tyto efekty nebyl znám až do nedávné doby, kdy se ukázalo, že důležité charakteristiky polovodiče jsou určovány spíše lokálními korelacemi než korelacemi na velkou vzdálenost. Na rozdíl od krystalických materiálů nemají amorfní polovodiče (viz obr. 29) otevřenou mezeru v pohyblivosti, ale tato mezera je do větší či menší míry vyplněna překrývajícími se chvosty vodivostních a valenčních pásem. Relativně úplná teorie elektrických a tepelných charakteristik takovýchto amorfních materiálů byla vyvinuta teprve zcela nedávno. Výhody amorfních polovodičů jsou zřejmé: jsou mnohem levnější, mnohem méně citlivé na znečištění a lze je vyrobit v libovolně velkých rozměrech a složitých konfiguracích.

Vskutku také vývoj v této oblasti byl do značné míry uspišen požadavkem na výrobu ekonomických slunečních buněk velkých ploch.

Z materiálů je v současné době největší zájem o dobře známé látky jako je křemík a germanium a dále o chalkogenní sklo, obsahující selen, telur, galium a podobné prvky. Zatímco u krystalických polovodičů se elektrické vlastnosti mění dramaticky přidáním velmi malého množství dopujícího prvku, vyžaduje dosažení požadovaných vlastností u amorfních polovodičů mnohem větší množství „modifikujících“ prvků (až několik desítek procent). Druhá významná oblast aktivity posledních několika let je vlastně odrazem poněkud opožděné realizace skutečnosti, že brzdné záření, které tak dlouho činilo potíže konstruktérům a provozovatelům elektronovým urychlovačů, poskytuje vlastně jedinečný intenzivní zdroj fotonů. Široká škála frekvencí – od viditelného světla až po měkké paprsky X – činí brzdné záření velmi vhodným pro studium pevných látek. To je znázorněno na obr. 30. Průkopnická práce byla v tomto směru vykonána v SSSR a USA při použití synchrotronového záření „vypůjčeného“ z urychlovačů elementárních částic. Zařízení, která mají sloužit výhradně jako zdroje synchrotronového záření se nyní budují jak v USA, tak v SSSR. Jsou navržena se speciálním zřetelem na to, aby produkovala záření s takovými charakteristikami, které jsou nejužitečnější pro výzkum pevných látek. Mluvíme-li o aplikacích, myslíme tím normálně přístroje – (k nim se ještě vrátím) – ale domnívám se, že v dlouhodobější perspektivě nejdůležitější aplikace fyziky kondenzovaných látek spočívá v porozumění té části fyziky, která souvisí s využitím vzácným a nedostatkových prvků a s vývojem náhražkových materiálů. Obr. 30 ilustruje na příkladu USA tuto situaci velmi názorně. Třináct v průmyslu široce používaných materiálů, z těch, které jsou uvedeny na obr. 28, se z více než 75% získává ze zahraničních zdrojů, které pro nás nemusí být vždy dostupné. Tak, jak jsou zdroje ekonomicky atraktivních rud vyčerpávány, stávají se mnohé z nich již dnes nedostatkovými. Potřebujeme být schopni dosáhnout kvality těchto materiálů, která je činí tak užitečné pro společnost i u jiných materiálů, vhodně zpracovaných a modifikovaných, jichž je přitom dostatek. Současně se mohou objevit i možnosti získání nových, ekonomicky přitažlivých kombinací vlastností nebo i vlastností, které nebyly dosud známy.

Uvedu dva příklady. Výroba kovových strojních dílů pro průmysl představuje pouze v USA obchod v hodnotě několika set miliónů dolarů. V tomto případě je problémem vyrobít obráběcí součástky, které nejsou křehké a pod nápořem prudkého zatížení se tedy nezlomí, ale jinak jsou velmi odolné proti opotřebování, tj. zachovávají si řeznou hranu a udržují prostorovou stabilitu. Tyto požadavky jsou téměř vždy protichůdné. Ukazuje se ovšem, že jestliže je na povrch těchto nástrojů nanesena chemickou nebo fyzikální cestou povrchová vrstva tantalu nebo dusičnanu wolframu (při fyzikálním procesu jsou urychlená jádra dusíku vtlačena do kovu), lze zachovat pevnost (dusičnan je sám křehký) a přitom získat až desetkrát větší doby života charakteristické pro dusičnan. To představuje už dnes pro americký průmysl úspory mnoha miliónů dolarů a je i svědectvím potenciální užitečnosti látek, které lze nazvat fyzikální slitiny. Je známo, že existuje mnoho prvků, z nichž nelze běžným způsobem v důsledku nevhodných chemických vlastností vytvářet slitiny. Z těchto prvků lze ovšem i tak – alespoň v povrchových vrstvách – vytvářet slitiny, a to přímo implantací prvků příměsí svazky urychle-

ných částic. Tato metoda se dnes velmi rychle rozvíjí. Přejdu nyní k nové oblasti tzv. „inženýrství“ enzymů (enzym engineering), která může sloužit jako příklad získání nových, jinak neexistujících vlastností. Již dlouho je známo, že prvotní vlastností živých systémů je schopnost chemické syntézy s minimálním vydáním energie. Je to pravděpodobně podmíněno tím, že molekula enzymu má strukturu, která způsobuje, že atomy a molekuly surových látek jsou zachyceny a k sobě přiblíženy přesně s takovou orientací, aby vznikl požadovaný produkt. Ten se potom oddělí a enzym je volný pro další opakování tohoto procesu (to znamená, že působí jako katalyzátor). Opakovaně se však ukázalo, že pouhé smíchání surových látek s patřičným enzymem ještě nevede k vytvoření požadovaného produktu, a to proto, že enzym koaguluje nebo ho nelze se surovými látkami smíchat, anebo také proto, že produkt enzym otráví a ještě také pro celou spoustu jiných možných důvodů. Nedávné výsledky výzkumu v Národní laboratoři v Oak Ridge demonstrovaly zcela novou techniku, která, jak se zdá, pracuje pozoruhodně dobře, ačkoliv detaily jejího mechanismu jsou zatím nejasné. Ukázalo se, že jestliže je roztok enzymu (laktóza) nalit na tenkou vrstvu organického polymeru, rozrušenou ozářením neutrony nebo nabitými částicemi, dochází k fixaci molekul enzymu v této vrstvě ve dvourozměrném uspořádání, přičemž aktivní strany enzymu směřují ven z vrstvy. Jestliže je potom na tuto vrstvu enzymu nanesena patřičná látka (syrovátka) dojde k vytvoření požadovaného produktu (glukóza) a přitom efektivní doba života enzymu je nekonečná. Při současném důrazu na efektivní využití energie ve všech průmyslových procesech lze očekávat, že takové postupy budou hrát v budoucnu v naší společnosti stále důležitější roli.

Vrátíme-li se k přístrojům, je těžké uvěřit, že v r. 1978 uplynulo již 30 let od oznámení objevu prvního tranzistoru (je na obr. 31). Míra pokroku v této oblasti je demonstrována na obr. 32, který znázorňuje, jak se zmenšují fyzické rozměry elektroniky zpracovávající informace v důsledku stále rostoucí miniaturizace a použití integrovaných obvodů. Tento obrázek byl zhotoven již před několika lety. Při použití technologie velkých integrovaných obvodů, nedávno vyvinuté předními firmami v tomto oboru, by se celý znázorněný počítač vešel velmi lehce do několika čtverečních milimetrů jediné destičky křemíku.

Dvě tajemství tak ohromného pokroku využívají techniky, o nichž jsme se již zmínili. Elektronová litografie umožňuje výrobu difúzních masek s mnohem větším rozlišením a tím i větší hustotou obvodových elementů, než jaké lze docílit optickými metodami. Iontová implantace kromě toho dovoluje daleko přesnější umístění dopantů než při užití difúze. To vede nejen opět k hustším integrovaným obvodům, ale také — prostřednictvím přesné kontroly hloubky, do níž jsou dopanty uloženy — k vývoji architektury obvodů ve třech rozměrech. I když zmenšení rozměrů zařízení s velkými integračními obvody je důležité, není ani zdaleka tím nejdůležitějším. Ve srovnání s dřívějšími a většími zařízeními jsou ta dnešní mnohem spolehlivější, spotřebovávají méně energie a jsou i mnohem levnější. To jsou vlastnosti, které povedou k revolučnímu vývoji naší společnosti již v několika nejbližších desetiletích.

Obr. 33 ukazuje možné spojení této a ještě jiné techniky, zabývající se naváděním těles velkých hmotností na oběžnou dráhu kolem Země, což je v současné době předmětem studia firmy Aerospace Corporation v USA. Komunikační satelity dnes používané

jsou vesměs lehké, mají malou energetickou kapacitu a velmi malé antény. V důsledku toho jsou pro spojení se satelity nutné velké pozemské antény, a to jak pro vysílání k družici, tak i pro příjem jejich signálů.

Dnes dostupná technika vysílání družic však již umožňuje reálně uvažovat o navádění mnohem těžších družic na dráhu kolem země. Ukazuje se, že při použití nových slunečních buněk je již v dosahu energetická kapacita několika desítek KW a vzhledem k tomu, že družice pracují v prostředí beztláče, je velikost antény dána především naší vynalézavostí při jejím skládání do odpalovací rakety. Zcela rozumné se dnes zdají být antény o průměru 250 stop. Při takto mohutných družicích jsou pak požadavky na pozemské stanice o mnoho menší, a to natolik, že odpovídají možnostem článku náramkových hodinek, o němž se očekává, že při výrobě ve velkých sériích bude stát méně než 25 dolarů. Uživatel vlastníci takový článek, by pak mohl komunikovat přímo s jinou osobou vybavenou podobným zařízením, která je v dosahu předpokládané geostacionární družice. Některé vypočtené vlastnosti takového systému jsou na obrázku 33. Ještě levnější by bylo malé zařízení, které by mohlo být používáno opakovaně a které by bylo součástí poštovních nebo jiných zásilek. Při použití dnes dostupné techniky by pak bylo možné určit místo, kde se zásilka nalézá s přesností několika stop, kdekoliv v dosahu družice. Vědět, že vaše zásilka je 1000 mil od místa určení a pohybuje se ještě v opačném směru, by vám sice znepríjemnilo trávení, ale bylo by přesto užitečné!

I když se může zdát, že předbírám, plně očekávám, že takovéto systémy se budou používat již dávno před rokem 2000. A celá nová oblast optických komunikací, postavená na technice umožňující výrobu flexibilních, bezporuchových a bezztrátových skelných vláken dlouhých mnoho mil a s tím souvisejících integrovaných optických systémů, zpřístupní každému jednotlivému občanovi radiové spojení a otevře tak zcela nový svět komunikací. Každý pak bude moci hledat v knihovně Kongresu nebo v jiné přístupné databance, stejně tak jako dostat svůj deník nebo jinou kopii, která ho zajímá, prostřednictvím přijímače faksimilií, aniž přitom opustí pohodlí svého domova.

Zlepšené komunikace budou mít za životně důležitý následek snížení požadavků na cestování, jednu z nejvíce energeticky intenzivních činností. Dvě velká centra Bellových laboratoří jsou již dnes spojena při konferencích poněkud futuristickým způsobem. V každém centru je polovina konferenčního stolu, který hraničí se stěnou, jež je celá tvořena televizní obrazovkou. Polovina všech účastníků je v každém centru prostřednictvím svých televizních obrazů, přičemž dojem je takový, že za několik minut je neobvyklou situací pryč a účastníci konference ji dále nevnímají. Uvažuje se i o mnohem elegantnějším – a také mnohem dražším – systému, v němž by se přenášel holografický obraz, který by působil ještě reálněji. Důležité změny nastaly také v nejstarší oblasti komunikací, akustice.

VII. Akustika

Tím, že akustika pronikla do všech oblastí moderní vědy, je někdy těžké vydělit ji jako samostatné odvětví fyziky. Obvykle je definována tak, že se zabývá oblastí frekvencí od 10^{-4} Hz, což je začátek tzv. infrazvukové oblasti, do 10^{14} Hz, což jsou frekvence tepelných vibrací.

Ve fyzice kondenzovaných látek se fonony ukázaly být důležitými nosiči energie, dlouhé periody akustických vibrací byly detegovány na Slunci a šíření akustických vln v hlubokých vrstvách oceánu na vzdálenost přes tisíce mil umožňují komunikaci mezi ponorkami a snad i mezi delfíny a velrybami. Byla vyvinuta nová zařízení pro výrobu a detekci akustické energie v celém zmíněném rozsahu frakvencí. Existence těchto zařízení vedla k celé řadě rozmanitých aplikací.

Obr. 34 ukazuje jednu z novějších, ve které ultrazvuk ($2 \cdot 10^4 - 5 \cdot 10^8$ Hz) je použit ke zviditelnění vnitřních lidských orgánů. V tomto případě ultrazvuk nahrazuje rentgenové záření a nemá přitom žádné nežádoucí vedlejší účinky. Největším úspěchem bylo získání informací o nespojitostech akustické impedance v měkkých tkáních, např. při vyšetřování mozku, břicha nebo srdce, kde rentgenové záření nedává žádné nebo jen malé rozlišení. Využití akustické holografie v takovémto nedestruktivním zobrazování vnitřních částí lidského těla je zatím v počátcích svého vývoje, ale dává velké naděje. Obrátím se nyní k fyzice tekutin.

O geometrii laplasiánu II*)

Oldřich Kowalski, Praha

4. Spektrum Riemannovy variety

4.1. Všude v dalším budeme předpokládat, že (M, g) je souvislá a kompaktní Riemannova varieta. Laplasián na varietě (M, g) chápeme opět jako lineární diferenciální operátor $\Delta : \mathcal{F}(M) \rightarrow \mathcal{F}(M)$, kde $\mathcal{F}(M)$ je pre-Hilbertův prostor všech hladkých funkcí na M (viz odst. 2.6 předchozí části).

Spektrum Riemannovy variety (M, g) (označujeme: $\text{Spec}(M, g)$) je definováno jako množina všech *vlastních hodnot* operátoru Δ , tj. jako množina všech čísel $\lambda \in \mathbb{R}$, k nimž existuje nenulová funkce $f \in \mathcal{F}(M)$ taková, že $\Delta f = \lambda f$. Každá funkce $f \in \mathcal{F}(M)$ taková, že $\Delta f = \lambda f$, $\lambda \in \text{Spec}(M, g)$, se nazývá *vlastní funkce odpovídající vlastní hodnotě* λ . Vektorový podprostor v $\mathcal{F}(M)$ tvořený všemi vlastními funkcemi odpovídajícími λ

*) Pokračování z čísla 1/1981