

D. Allan Bromley

Hranice fyziky a jejich role ve společnosti

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie, Vol. 26 (1981), No. 1, [1]--22

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/137717>

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

Článek podává zevrubný přehled nedávného vývoje všech větších oborů fyziky a současně s tím ilustruje jejich společenské aplikace. Dokládá, že uplynulých pět let patří mezi nejvíce vzrušující a nejproduktivnější léta v historii vědy, a to jak z hlediska fundamentálních objevů týkajících se struktury a dynamiky vesmíru, tak i pokud jde o praktické využití těchto i dalších objevů k zmírnění problémů lidstva. Důraz je kladen na jednotu vědy a na výzvy, které ji očekávají.

Povaha fyziky

„Věda znamená vědění. To, co člověk ví o neživé přírodě nebo spíše to nejtvrdejší a nejobjektivnější, co o ní ví, tvoří fyziku. Jak člověk nabývá znalostí, začíná se mu to, co dříve vypadalo složité a vrtošivé, jevit jednoduchým a v hlubokém slova smyslu uspořádaným. Rozumět tomu, jak věci pracují, znamená také chápat, jak v rámci omezení plynoucích z prostředí, v němž žijeme, a nedokonalosti našeho rozumu lépe přizpůsobit přírodu člověku a člověka přírodě.“

(*Perspektivy fyziky*, díl I, str. 55, Národní akademie věd, Washington, D.C., 1972)

1. Úvod

Definice fyziky citovaná z *Perspektiv fyziky* se zdá obzvláště přiléhavá pro Mezinárodní unii pro čistou a aplikovanou fyziku. Někdy máme tendenci zapomínat nebo považovat za samozřejmý dramatický dopad, který naše věda měla a dále má na kvalitu života celého lidstva a na strukturu naší společnosti. Jsem přitom přesvědčen, že jsme byli svědky teprve začátku. Fyzika, která je ze všech vědních disciplín snad nejvíce v pravém slova smyslu mezinárodní, má příležitost a odpovědnost zajistit i nadále prospěch, který z objevů vědy společnost má, a rozšířit tento prospěch – a to je nej-

*) První část překladu přednášky [D. A. BROMLEY *The Frontiers of Physics and their Role in Society* přednesené na XVI. Valném shromáždění Unie pro čistou a aplikovanou fyziku pořádaném Královskou švédskou akademií věd ve Stockholmu. *Physica Scripta* 19 (1979). Přeložil L. HLAVATÝ.

důležitější — i na tu velkou část světové populace, již byl zatím z jakýchkoli důvodů odepřen.

Každý pokus o přehled tak širokého a dynamického pole, jakým byla fyzika v období od našeho posledního Valného shromáždění v Mnichově v roce 1975 je, pochopitelně, odsouzen od samého počátku k nezdaru. Místo toho se pokusím podat velice osobní výběr výsledků dosažených v jednotlivých oborech fyziky a s nimi i stejně tak osobní výběr příkladů ilustrujících aplikace těchto oborů na problémy stojící před současnou společností. Ve svém článku se vyhýbám přívlastkům „čistý“ a „aplikovaný“, neboť jsem přesvědčen, že spíše než čistá a aplikovaná fyzika existuje pouze dobrá a špatná fyzika. To, zda je jakákoliv dobrá fyzika čistá nebo aplikovaná je otázkou motivace fyzika, který ji dělá a nikoliv fyziky samotné. Aplikace, odhlédneme-li zcela od prospěchu, o němž jsem se již zmínil, ovšem vytvářejí most směrem ke společnosti, která fyziku pěstuje a podporuje. Ti z nás, kteří ve fyzice pracujeme, máme privilegium zahrát si roli v jednom z největších dobrodružství daných člověku: pochopit na základní úrovni, jak věci pracují. I když společnost může často ocenit toto dobrodružství v abstraktní rovině jako životně důležitou součást moderní kultury, jsou to naše aplikace, jejichž prostřednictvím má svět fyziky na společnost největší dopad. Jsem skutečně šťastný, že mám příležitost přednést tento přehled fyziky právě v tomto okamžiku. Jsem přesvědčen, že uplynulých několik let patří ve fyzice mezi nejvíce vzrušující od doby počátků kvantové mechaniky, neboť jsme byli svědky těch nejzákladnějších průlomů v našem chápání. Ve svém přehledu využiji celkem přirozené hierarchie jednotlivých oborů fyziky:

- Relativistická astrofyzika
- Fyzika částic
- Jaderná fyzika
- Fyzika plazmatu
- Atomová a molekulární fyzika
- Fyzika kondenzovaných látek
- Fyzika tekutin
- Akustika
- Optika
- Mechanika

Relativistická astrofyzika neboli také kosmologie se zabývá základní stavbou prostoročasu samotného; začátkem, vývojem a koncem našeho vesmíru a fundamentálními symetriemi přírody. Bez hmoty by ovšem byl vesmír vsutku nudný. Fyzika částic studuje nejelementárnější aspekty této hmoty; její základní kameny a fundamentální síly a opět také symetrie její struktury. V prvním stadiu vývoje vesmíru dochází k spojování částic a vytváření jader atomů, od vodíků až po plutonium, které známe z našeho zemského prostředí, ale v počáteční velmi násilné době syntézy i dalších prvků. Elektromagnetické síly vyžadují, aby velké shluky hmoty byly jako celek elektricky neutrální, takže kladně nabitá jádra jsou smíšena s elektrony ve čtvrtém skupenství hmoty — plazmatu. Přes 90% hmoty vesmíru existuje ve formě plazmatu.

Jak klesá teplota na hodnoty typičtější pro poměry, které převládají na Zemi —

celkem běžné planetě obíhající kolem té nejméně významné hvězdy z celého katalogu nebes – jsou jádra neutralizována vytvářením vlastních atomových slupek. Ze stále složitějších shluků takto vytvořených atomů pak vzniká nádherná paleta molekul tvořících předmět studia chemie i život sám. Další ochlazení vede k dalšímu shlukování atomů a molekul, jehož výsledkem jsou tekutiny a pevné látky, tedy kondenzovaná hmota. Tekutiny představují podstatnou složku našeho okolí a také nevyřešené vědecké hádanky. Pevné látky jsou nám známy z denního života a ze starších, ale přesto stále velice životaschopných oborů fyziky jako akustika, optika a mechanika.

Takový je tedy rozsah našeho pole: od nejzazších okrajů námi poznaného vesmíru až hluboko do srdce atomů, od nejabstraktnějších spekulací o supergravitaci až k neuvěřitelnějším aplikacím v lékařství, technice a každodenním životě průměrného člověka. Je to skutečně velké dobrodružství. Z důvodů, které budu doufám zřejmé, se při probírání jednotlivých oborů odkloním od výše uvedeného pořadí a přesunu relativistickou astrofyzikou či kosmologií až na konec svého článku. Začneme tedy s fyzikou částic.

2. Fyzika elementárních částic

Velký rozruch ve fyzice elementárních částic nastal v padesátých letech, kdy byl objeven stále větší počet tzv. elementárních částic. Tento jev byl výsledkem konstrukce urychlovačů se stále většími energiemi. Soustředěním větších množství energie do stále menších oblastí vznikaly rychle se rozpadající mezony typu π a později K , ρ , ω a ϕ , členy baryonových skupin až k částici Ω^- a jim odpovídající antičástice. Brzy bylo, bohužel, jasné, že tak rozsáhlá skupina nemůže být opravdu elementární. Pořádek byl obnoven, až když se zjistilo, že všechny strukturální vlastnosti těchto částic (souhrnně nazývaných hadrony) lze vysvětlit, postulujeme-li existenci tří nových, velmi těžkých objektů – kvarků; jejich interakci popisujeme v rámci unitárních grup. Přes usilovné hledání nebyly však volné kvarky dosud objeveny. Toto uvěznění kvarků v hadronech lze chápat jako důsledek speciální radiální závislosti silných interakcí. Vytržení kvarků z baryonu vyžaduje větší energii, než jaké je třeba k vytvoření kvark-antikvarkového páru. Při dodávání energie baryonu vzniknou tedy napřed takovéto páry a antikvark potom znovu interaguje a vytvoří mezon.

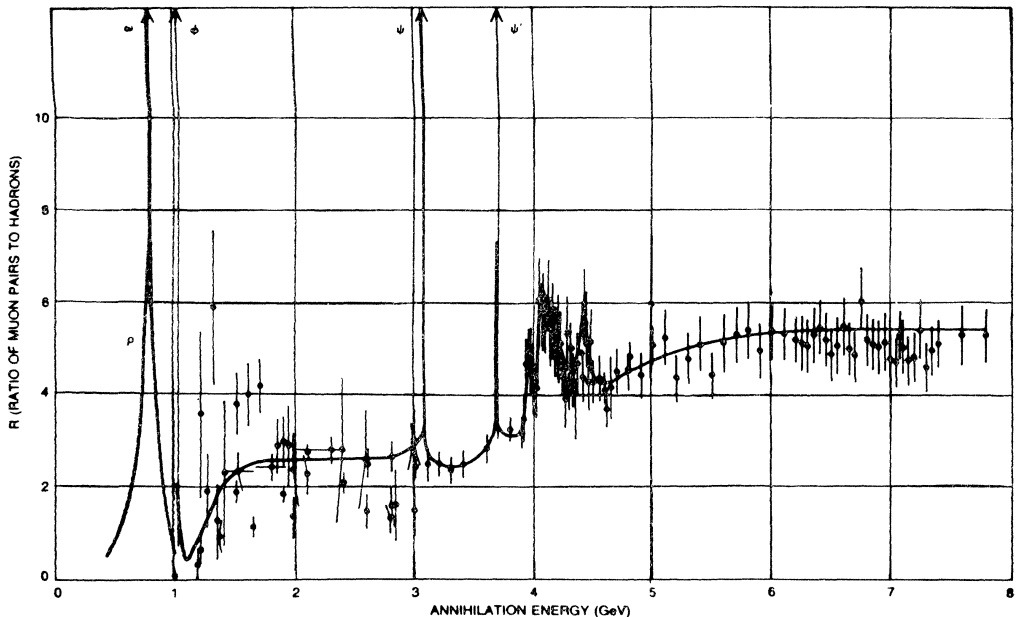
Vedle hadronů existují též leptony, což jsou např. elektrony a miony, jejich neutrina a antičástice. Leptony interagují slabou, nikoliv však silnou jadernou interakcí. Pokud víme, jsou tyto částice skutečně elementární a nemají žádnou vnitřní strukturu.

Konec šedesátých a počátek sedmdesátých let byl pro fyziku elementárních částic poněkud rozčarováním. Zdaleka nebylo jasné, že se objeví kýžené zjednodušení a množství teorie byly jen slabě potvrzovány experimenty. To vše se změnilo v tzv. listopadové revoluci v r. 1974, kdy byl ohlášen objev zcela nového typu částice, zjištěné v silných interakcích v Brookhavenu a v podstatě ve stejné době ve Stanfordu, v interakcích elektromagnetických. Obrázek 1 dokumentuje objev této částice, pojmenované ψ , v elektron-pozitronové anihilaci na stanfordském zařízení SPEAR. To, že rezonance ψ má dlouhou dobu života (malá šířka píku implikuje dlouhou dobu života jako důsledek principu neurčitosti), naznačovalo, že je složena z jiných objektů, než jaké byly dosud

známy a že se proto nemůže rychle rozpadat na konfigurace s nižší energií. Předpokládá se, že rezonance ψ je tvořena kvark-antikvarkovým párem nového typu kvarku, tzv. půvabného. V anihilačních experimentech pak následovaly v rychlém sledu objevy excitovaných stavů této konfigurace a půvabných mezonů, ve kterých je půvabný kvark doprovázen některým z původních. Jak je vidět z obrázku 1, ještě donedávna byly maximální energie dostupné na urychlovačích okolo 8 GeV.

Objevení půvabného kvarku otevírá nové možnosti fyziky elementárních částic. Zatímco původní tzv. u- (up), d- (down) a s- (strange) kvarky bylo možno kombinovat, jak ukazuje obrázek 2, na všechny do té doby známé hadrony, s novým kvarkem lze očekávat další objevy kombinující půvabné a nepůvabné kvarky a ty jsou skutečně nalézány.

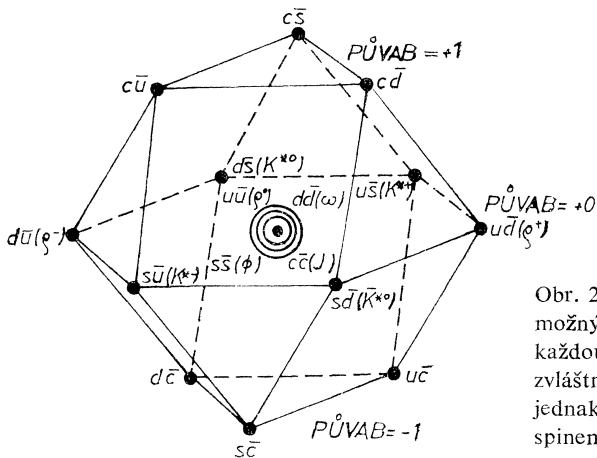
Další pozornost vzbudily i výsledky zachycené na obr. 3, získané ve Fermiho laboratoři v Chicagu při zkoumání silných interakcí a potvrzené v technicky obdivuhodném elektron-pozitronovém prstenci DESY v Hamburku. Tyto výsledky opět ukazují na existenci dalšího, ještě těžšího kvark-antikvarkového mezonu Υ (upsilon) a jeho excitovaných stavů. V Evropě byl tento kvark nazván krásným (beauty-b), zatímco v USA



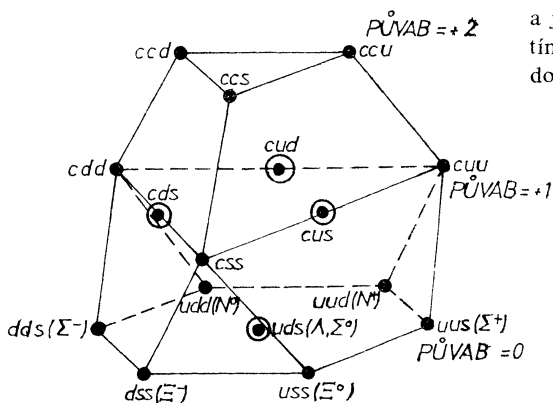
Obr. 1. Poměr R vzrůstá z hodnoty okolo 2,5 pro energii nižší než 3 GeV na hodnotu 5,5 pro energii nad 5 GeV. Nejpravděpodobnější interpretace tohoto vzrůstu je, že v tomto intervalu se překračuje práh pro vytvoření nového typu kvarku. Ještě pozoruhodnější než celkový vzrůst tohoto poměru je, že křivka má řadu vysokých a neobyčejně úzkých píků. Tři píky soustředěné okolo energie 1 GeV odpovídají produkci ρ , ω a ϕ mezonů, jejichž kvarková struktura obsahuje kombinace $u\bar{u}$, $d\bar{d}$, $s\bar{s}$. Pík u 3,1 GeV je ψ mezon vytvořený z kvark-antikvarkového páru $c\bar{c}$. ψ mezon byl objeven v roce 1974 při měření R ; ψ' mezon, který je excitovaným stavem téhož páru, byl nalezen o 10 dní později. Širší pík u 4 GeV odpovídá několika krátkožijícím částicím a je nyní chápán jako práh vzniku půvabných mezonů.

se užívá prozaičtějšího jména spodní (bottom-b) ve shodě s označením původních kvarků: horní, dolní.

Souběžně s objevy hadronů prokázala skupina fyziků ve Stanfordu existenci pátého a šestého leptonu, a to těžkého elektronu τ (mnohem těžšího než mion) a jemu odpovídajícího neutrina*). To znamená, že máme dohromady šest leptonů.



Obr. 2. Skupiny hadronů jsou určeny všemi možnými kvarkovými kombinacemi. Pro každou možnou hodnotu spinu existuje zvláštní multiplet částic. Zde jsou zobrazeny jednak mezony se spinem 1 a baryony se spinem 1/2. Až donedávna byly pozorovány pouze částice v rovině „přuvab = 0“, ale objev půvabných částic znamená, že musí existovat ještě řada dalších. ψ částice uzavírá skupinu 4 částic ve středu skupiny mezonů se spinem 1. Částice D^0 , D^+ a F^+ jsou skupiny mezonů se spinem 0, ale jejich excitované stavy D^{*0} , D^{*+} a F^{*+} leží ve skupině mezonů se spinem 1. Mezony D^{*0} , D^{*+} a jejich antičástice byly již pozorovány, zatímco existence půvabných baryonů nebyla dosud zcela prokázána.



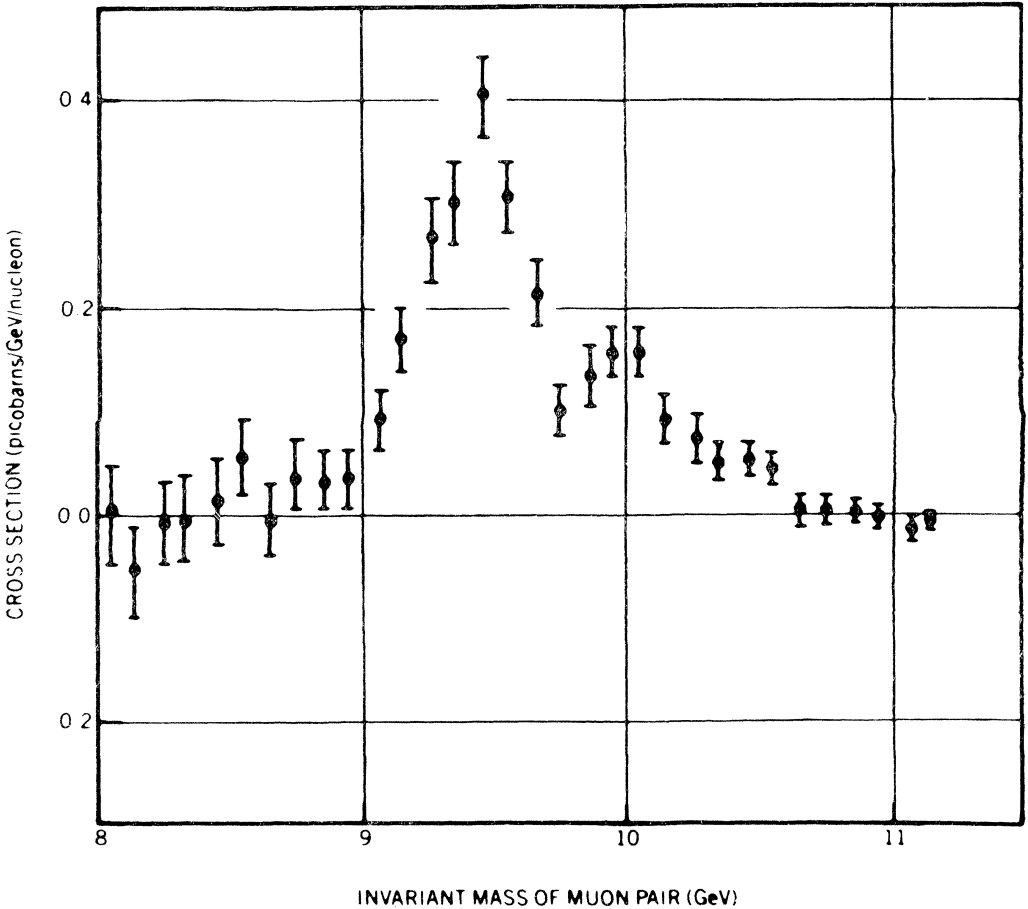
Mnoho fyziků trápí otázka hluboce filozofická, proč by příroda měla být organizována podle unitární grupy $SU(6)$ a zda v přírodě existuje pouze 6 leptonů a pravděpodobně 6 základních kvarků. Jsou ještě další elementární částice, které budou objeveny,

*) Pozn. překl.: Existence šestého leptonu není ještě zcela jednoznačně prokázána, neboť není jisté, že τ -neutrina se liší od elektronového neutrina.

a jiné grupy, které by je popsaly? A co je vůbec zvláštního na čísle 6. Mohlo by to být zrovna tak 17 nebo 37? V poslední době vzbudila zájem teoretických fyziků a matematiků možnost vysvětlit systém rozsáhlé rodiny elementárních částic pomocí grupy E_8 , nejsložitější z pěti tzv. výjimečných Lieových grup. Tato možnost je esteticky velmi přitažlivá, neboť neexistují žádné složitější podobné grupy a mimoto E_8 vyžaduje právě 6 kvarků (každý se třemi barvami, ale to je již jiná záležitost). Zbývalo by tedy nalézt již pouze jediný typ kvarků.

Na první pohled by se mohlo zdát, že přechod od tří k pěti (a pravděpodobně k šesti) základním hadronům (tj. kvarkům) a od čtyř k šesti základním leptonům může stěží usnadnit pochopení přírody. Poznatky z další oblasti fyziky elementárních částic zabývající se popisem základních interakcí, toto naštěstí víc než kompenzují.

Obr. 4 ukazuje schematickým způsobem působení čtyř známých fyzikálních sil. Historie nás sice naučila, že musíme být přístupni i úvahám o existenci dalších sil, ale v sou-

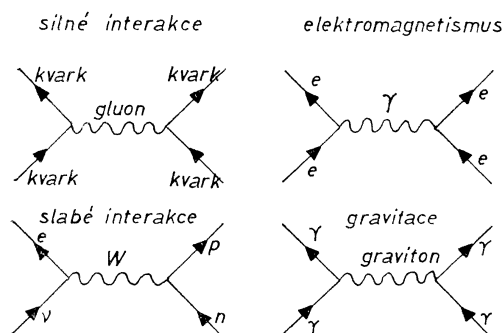


Obr. 3. Účinný průřez produkce mionových párů jako funkce jejich invariantní hmoty po odečtení hladké exponenciální části, aby byla zvýrazněna oblast mezi 9–10 GeV. Jasný je pík u 9.4 odpovídající Y , dále u 10.0 pro Y' a předběžná indikace zvlnění u 10.4 GeV.

časné době můžeme říci, že tyto čtyři síly stačí k pochopení a vysvětlení všech fyzikálních jevů. Pokud by bylo například někdy demonstrováno, že jevy mimosmyslového vnímání jsou reálné, bylo by zapotřebí k jejich vysvětlení dalších sil, neboť síly zobrazené na obr. 4 k tomu nestačí.

Důležitým objevem posledních let byl objev tzv. neutrálních proudů, které svědčí o existenci slabých interakcí, zprostředkovaných neutrálními intermediálními bosony Z^0 , které jsou podobné nabitým bosonům W^\pm . Žádný z těchto bosonů však zatím nebyl pozorován. Odhadovaná hmotnost W bosonu je okolo 75 GeV, zatímco hmotnost Z^0 bosonu by měla být větší, asi 90 GeV, takže současné urychlovače nemohou poskytnout energie potřebné k jejich pozorování.

Ještě důležitější byly nedávné pokroky v teorii, slibující možnost sjednocení přinejmenším jisté části polních teorií. To je (opět velmi schematicky) znázorněno na obrázku 5. Před jistou dobou bylo navrženo, že slabé a elektromagnetické síly by mohly být pouze různými projevy jedné a téže interakce. Je známo, že slabé interakce



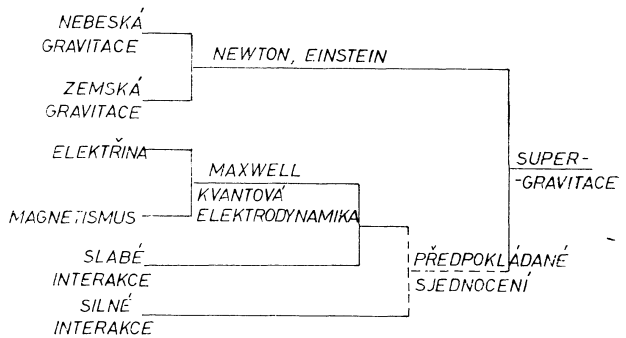
Obr. 4. Interakci částic lze znázornit pomocí diagramů, ve kterých jsou propojeny 2 interakční vrcholy, což odpovídá tomu, že síla mezi dvěma částicemi je přenášena třetí tzv. virtuální částicí, která nemůže být přímo pozorována. Každá ze čtyř interakcí má svou vlastní virtuální částici — kvantum. Kvantem elektromagnetické síly je foton. Silná interakce mezi kvarky (o nichž se předpokládá, že jsou základními složkami protonů a neutronů) je zprostředkovávána tzv. gluony. Slabá interakce je přenášena částicemi W^+ , W^- a Z^0 , které jsou stejného typu jako foton až na to, že nemají nulovou hmotu. Z těchto vyměňovaných kvant byl zatím pozorován pouze foton, ale věří se, že existují i ostatní.

nezachovávají paritu, zatímco elektromagnetické ano. Testem účasti slabé interakce v interakcích, o kterých se dříve předpokládalo, že jsou čistě elektromagnetické povahy, je proto narušení parity, která se nyní usilovně zkoumá.

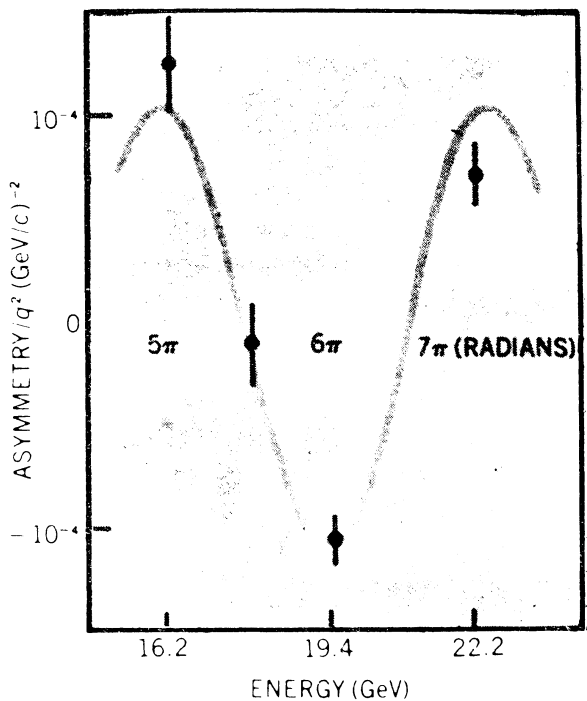
Nejjednodušším elektromagneticky interagujícím systémem je atom. Bohužel experimenty, které by detekovaly narušení parity v atomu jsou extrémně složité a výsledky jsou zatím nejasné. *) Vzhledem k tomu, že hledané efekty vzrůstají rychle s nábojem jádra, soustředily se dosud konané pokusy v Novosibirsku, Seattlu a Oxfordu na těžké atomy, jako je vismut a thalium, a interpretace dat značně závisí na kvantitativních výpočtech elektronových vlnových funkcí v atomu. Podobné pokusy na vodíku, kde tyto potíže nevznikají, se konají v Yale a na dalších pracovištích. Očekávané efekty jsou však o několik řádů slabší a zatím nejsou k dispozici žádné výsledky. Naštěstí jsou

*) Pozn. překl.: V současné době je již prokázáno, že i tyto výsledky se shodují s předpověďmi Salamovy-Weinbergovy teorie.

Obr. 5. Dějiny fyziky ukazují na postupné sjednocování teorií. První velké syntézy dosáhl Newton, když ukázal, že pohyb střel na Zemi a pohyb planet lze vysvětlit stejným jednoduchým zákonem. Podobně James Clerk Maxwell odvodil jednotnou teorii zahrnující elektřinu i magnetismus. Ve 20. století byla Newtonova teorie nahrazena Einsteinovou obecnou teorií relativity a Maxwellova teorie byla rozšířena na kvantovou teorii pole nazývanou kvantová elektrodynamika. V nedávné době byla sjednocena slabá interakce s elektrodynamikou. Silná interakce je rovněž vyložena kvantovou teorií pole a je možné, že se nakonec ukáže, že všechny tyto tři síly (silná, slabá a elektrodynamická) jsou různé projevy jediné interakce. Teorie supergravitace vyvinutá v posledních dvou letech popisuje gravitaci v pojmech kvantové teorie pole. Zatím nebyla experimentálně ověřena, ale doufá se, že by mohla sjednotit veškeré síly v přírodě.



Obr. 6. Asymetrie pozorovaná ve stanfordském experimentu při rozptylu polarizovaných elektronů na nepolarizovaných deuteroněch. Křivka vykazuje očekávanou kosinovou závislost plynoucí ze změny helicity elektronů v závislosti na jejich energii. Změna je vyvolána precesí spinu v magnetickém poli transportního systému elektronového svazku. Pozorovaná kosinová závislost je dosti přesvědčivým důkazem toho, že asymetrie je skutečně způsobena spinem elektronu. Velikost asymetrie je blízká hodnotě předpověděné Weinbergovým-Salamovým modelem. Pro jediný volný parametr tohoto modelu, tzv. Weinbergův úhel, který udává poměr hmot nabitých a neutrálních intermedieálních bosonů, byla nalezena experimentální hodnota $\sin^2 \theta = 0,20 \pm 0,03$, což odpovídá hodnotě zjištěné při rozptylu neutrin na nukleonech.



známy výsledky společného Stanfordsko-Yaleského experimentu, ve kterém byly rozptylovány polarizované vysokoenergetické elektrony na nepolarizovaných tercích z vodíku a deuteria. Na obrázku 6 jsou tyto výsledky srovnány s Weinbergerovou-Salamovou teorií cejchovacích polí. Skvělý souhlas silně podporuje platnost této teorie sjednocující slabé a elektromagnetické interakce. Pochopitelně je třeba udělat ještě mnoho experimentální i teoretické práce, než se bude vše považovat za prokázané, ale současné výsledky dávají tomuto prvnímu sjednocovacímu kroku velkou naději.

Jak je naznačeno na obrázku 5, existuje ještě další, zatím experimentálně neověřená hypotéza, že totiž při vyšších energiích (tedy na menších charakteristických vzdálenostech) bude vzrůstat charakteristická síla slabé a elektromagnetické interakce, zatímco síla silné interakce bude klesat. To by vedlo ke konečnému sjednocení všech těchto tří sil. Tuto hypotézu bude možno testovat na urychlovačích, které se nyní budují. Během několika posledních let byl učiněn též významný pokrok v zahrnutí gravitace do kvantové teorie pole. Tato nová teorie supergravitace, ke které se vrátíme později, je zatím ještě v plenkách, ale stav dosažený v současné době činí tuto kvantovou teorii gravitace podstatně rozumnější, než byla kdykoliv předtím, a dává naději na uskutečnění Einsteina snu — sjednocení všech přírodních sil. Toto sjednocení by kompenzovalo větší složitost základních elementů hmoty.

Toto vše se však může zdát velmi vzdálené zájmům společnosti a přes rozšiřování lidských intelektuálních obzorů, které je základním rysem naší společnosti, stejně jako např. stavění katedrál ve společnostech středověku, občan má právo se ptát, jaký má pro něho význam fyzika elementárních částic. Význam je sice nepřímý, nicméně velmi reálný. Na obrázku 7 je letecká fotografie 3,2 km dlouhého urychlovače elektronů ve Stanfordu (je poučné si všimnout, že to není nic jiného než největší elektronový mikroskop na světě, položený na bok). Zkoumání mikroskopických rozměrů, pro fyziku elementárních částic charakteristických, vyžaduje takováto gigantická zařízení a jejich výroba stále posouvá hranice našich technických možností. Existuje mnoho příkladů příliš málo uznávané symbiózy mezi fyzikou ve všech jejích odvětvích a technikou. Rozšiřováním technických možností získává věda prostředky k zodpovězení starých otázek a klade nové, jejichž řešení opět vyžaduje lepší techniku. Fyzika elementárních částic a jaderná fyzika jsou průkopníky této symbiózy tím, že využívají vysokého vakua, počítačů a dalších technologií, které obohatily naši společnost. Zaměříme se na dva příklady z nedávné doby.

Obrázek 8 ukazuje přenosnou umělou ledvinu za 15 dolarů, která byla vyvinuta v Argonne National Laboratory z membrán původně konstruovaných k čištění kapaliny v bublinových komorách. Význam takového zařízení lze pochopit, když si uvědomíme, že po selhání ledvin jsou tisíce Američanů udržovány při životě pravidelnou dialýzou pomocí umělé ledviny. Její cena je okolo 100 000 dolarů a vyžaduje obsluhu zkušených techniků a mnoho Američanů, jakož i dalších na celém světě, zemřelo, protože neměli přístup k tomuto zařízení. Jak zde bylo ilustrováno, je nanejvýš důležité, aby si fyzikové byli vědomi možného společenského využití práce věnované rafinovaným fyzikálním experimentům.

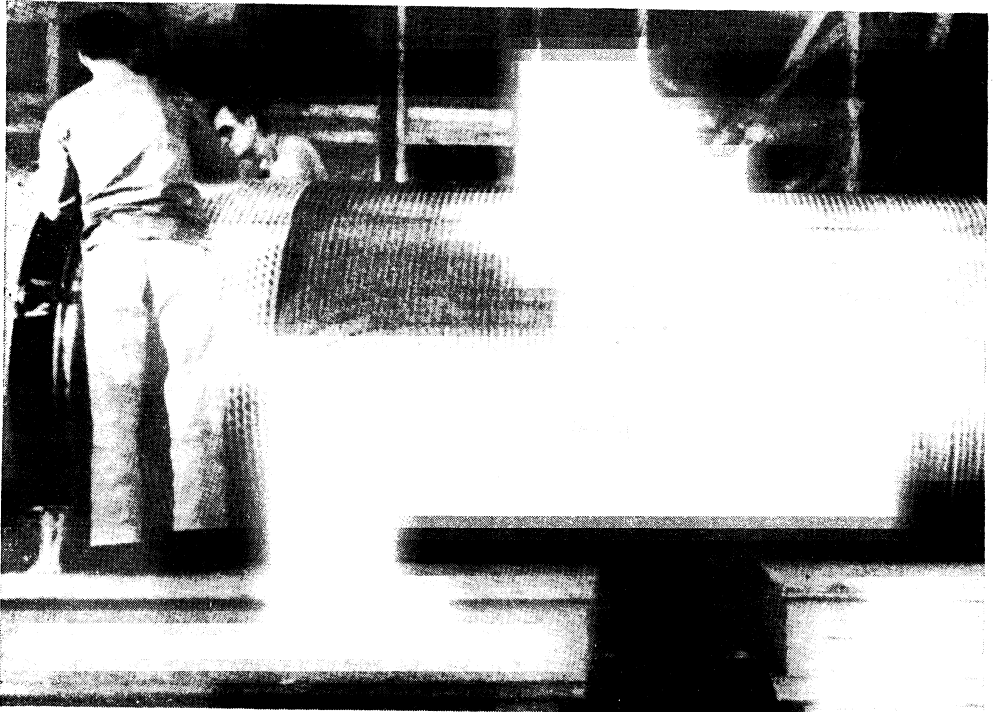
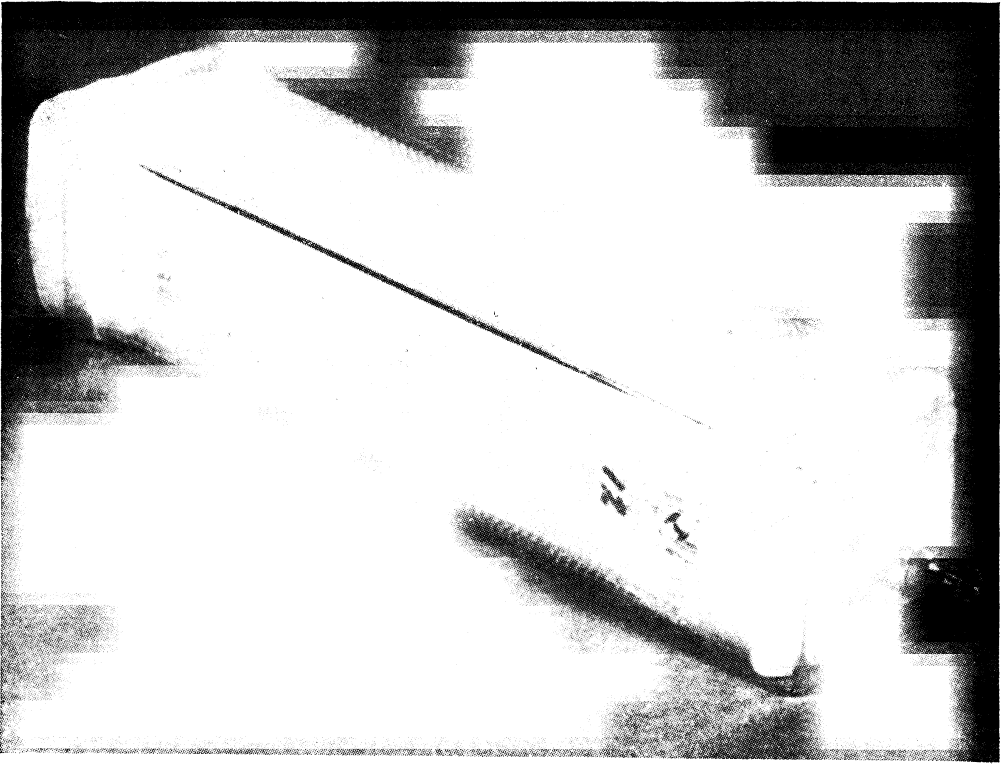
Na obrázku 9 je fotografie velkého supravodivého magnetu, který byl vyvinut v Argonne National Laboratory pro Ústav vysokých teplot v Moskvě, a to při společném



Obr. 7. Dvoumílový urychlovač ve Stanfordu. Zdroje polarizovaných a nepolarizovaných elektronů jsou umístěny na vzdálenějším konci zařízení, zatímco v popředí je vidět odkláňací oblasti a různé haly, ve kterých jsou umístěny terčíky. V této oblasti je nyní též umístěn elektron-pozitronový prsteneček SPEAR, který však v době pořízení tohoto snímku nebyl ještě vybudován. Při urychlování získají elektrony rychlost blízkou rychlosti světla již v několika prvních metrech, takže celý urychlovací proces probíhá jako získávání efektivní hmoty. Maximální energie elektronů je 30 GeV, kdy jejich efektivní hmota je 60 000krát větší než klidová.

Obr. 8. Malá, ne příliš drahá umělá ledvina vyvinutá v oddělení přístrojů pro vysoké energie v Argonne National Laboratory, která byla testována v illinoiské Veteran's Hospital. Její rozměry jsou $15 \times 5 \times 5$ cm. Zkoušejí se rovněž možná využití podobných zařízení, např. membránových oksyločovadel v umělých plicích.

Obr. 9. Tento supravodivý magnet v Argonne National Laboratory je určen pro magnetohydrodynamickou výrobu elektřiny. Magnet bude instalován v Ústavu vysokých teplot v Moskvě jako součást společného programu se Sovětským svazem. Obrázek ukazuje nanášení třídvacaté vrstvy supravodivého drátu na tzv. sedlovou cívku. Před leteckým odesláním do Moskvy byl magnet spolu se svým kryostatem smontován a prověřen v tekutém heliu v Argonne a ukázalo se, že produkuje předpokládané transversální pole 50 kilogaussů.



programu magnetohydrodynamické výroby elektřiny. Požadavky fyziky elementárních částic na supravodivé magnety a urychlovače daly vznik celému novému průmyslu, o kterém se dá očekávat, že se uplatní při výrobě velkých motorů, generátorů, magnetických polštářů pro systémy hromadné dopravy a vůbec všude, kde lze dosáhnout úspor ve spotřebě elektrické energie využitím supravodivých magnetických cívek.

To jsou jen dva z mnoha příkladů, kde technické požadavky fyziky elementárních částic a jejich řešení vyústily v produkci nových výrobků, nový průmysl a ve prospěch společnosti.

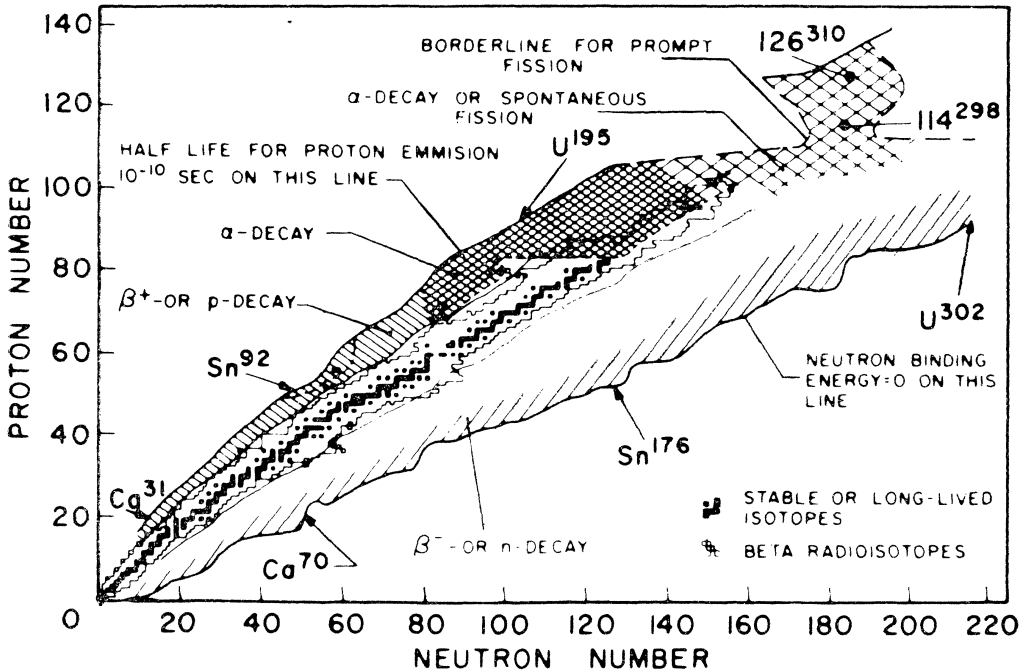
3. Jaderná fyzika

Oblast atomových jader ukazuje obrázek 10. Existuje asi 300 stabilních jader a během vývoje jaderné fyziky bylo vytvořeno a studováno asi 1 300 dalších radioizotopů z celkového množství 1 600 jader. Jak je však patrné z tohoto obrázku, existuje dosti velké množství izotopů, u kterých lze s důvěrou předpovědět značnou stabilitu. Stabilní jádra jsou samozřejmě svázána silněji, a kdybychom nakreslili graf energie vertikálně nad zobrazenou oblast, stabilní jádra by ležela na dně hlubokého údolí – údolí stability. Kdysi jsem uvedl, že pokus popsat všechna jádra na základě toho, co víme o stabilních nebo téměř stabilních jádrech, je jako popisovat zeměpis USA na základě detailního studia dna Velkého Kaňonu v Coloradu.

Na tomto obrázku lze ukázat tři hlavní směry vývoje současné jaderné fyziky: prodloužení zmíněného údolí ve směru stále těžších jader, pronikání do vzdálenějších oblastí od údolí stability směrem ke stále křehčím a rychleji se rozpadajícím jádrům a vyšetřování atmosférických oblastí tohoto grafu, tj. chování jader, kterým je dodávána energie nutná k vybuzení nad základní stavy. V poslední době byl učiněn podstatný pokrok ve všech těchto třech směrech. V dalším, čtvrtém směru rozvoje se využívá fakt, že jádro je konečný systém mnoha částic, ve kterém současně působí všechny přírodní síly (zabýváme se i neutronovými hvězdami) a ve kterém je počet složek dost velký, aby vytvořil bohaté spektrum jevů, a přitom dost malý, aby dával naději na detailní mikroskopické porozumění těmto jevům. Doufám, že jádro nám poskytne platformu potřebnou pro objevení rozhodujícího pohledu na problém mnoha částic, který je důležitý pro fyziku i pro příbuzné vědy. Jádro je vhodnou mikroskopickou laboratoří, ve které mohou být testovány nejzákladnější prvky našeho chápání přírodních sil a jejich symetrií.

Pátá rozvíjející se oblast používá vysokoenergetických a podivných částic (např. K-mezonu) k vyšetřování jevů v tzv. střední oblasti energií, tj. energií větších než hmota π -mezonu. Hlavní zařízení tohoto výzkumu pracují v Los Alamos, MIT, Vancouveru, Paříži a Curychu a další velmi účinné je nyní vybudováno v Moskvě. Stále více si uvědomujeme, že představa jádra složeného pouze z protonu a neutronů neodpovídá zcela skutečnosti a že mnohé jaderné experimenty dokazují existenci mezonových proudů a excitovaných nukleonových stavů v jádře. Zkoumání jádra pomocí K-mezonů umožňuje tvořit a studovat hyperjádra, což jsou systémy, ve kterých je přidán některý podivný hadron, např. částice Λ na slupku obsazenou protony a neutrony, aniž by byl porušen Pauliho vylučovací princip. Tato oblast je však zatím ještě v počátcích průzkumu.

Vraťme se však k hraničním oblastem obrázku 10. Stále složitější experimenty v Berkeley a v Dubně umožnily rozšířit periodickou tabulku prvků za uran a plutonium až k prvkům s atomovým číslem 107 a možná 108. Díky složitosti experimentů a proto, že tyto dvě skupiny používají odlišnou experimentální identifikaci nových prvků dochází k rozporům o tom, komu náleží prvenství při objevování jednotlivých transuranových prvků a jejich vlastností. Nicméně shodně bylo zjištěno, že přecházíme-li k těžším prvkům této oblasti, doba života stále klesá, a to do milisekundové, až mikrosekundové oblasti. Současně však rozšíření našich znalostí o těžkých prvcích získaných z přesných



Obr. 10. Zakreslíme-li jadernou vazbovou energii pro daný počet protonů (Z) a neutronů (N) jako plochu nad tento graf, dostaneme graf stability jader. Pro mnohá N a Z jsou nejstabilnější jádra s $N = Z$. Se vzrůstajícím Z však elektrostatické odpuzování protonů posune stabilitu směrem k jádrům s $N < Z$. Černé čtverečky představují stabilní jádra v přírodě, tj. jádra s velkým poločasem rozpadu vzhledem k délce života sluneční soustavy. Takových existuje celkem asi 300. Oblast, která byla doposud prozkoumána v jaderné fyzice je vyznačena tenkou čarou a obsahuje asi 1 600 jader (izotopů). Vnější silná čára určuje oblast, ve které lze počítat s jádry stabilními vůči okamžitému rozpadu působením silné interakce. Nižší čára je tzv. čára neutronového odkapávání, což znamená, že izotopy pod ní spontánně a okamžitě emitují neutrony a tím se posunují v grafu doleva tak dlouho, až překročí tuto čáru a hranici stability. U horní hranice převažuje vyzařování silně vázaných alfa-částic (héliové jádro obsahující 2 protony a 2 neutrony) nad přímým vyzařováním protonů. Spontánní štěpení jader omezuje oblast stability u velmi těžkých jader. $B_f = 0$ označuje nulovou vazbovou energii vůči štěpení stejně jako $B_n = 0$ vůči emisi neutronů. Daleko za oblastí přirozených jader jsou naznačeny dva ostrovy stability okolo $Z = 114$ a $Z = 126$. Z tohoto obrázku je zřejmé, že zbývá ještě prozkoumat rozsáhlou oblast jaderných konfigurací. Zatímco nejstabilnější uranové izotopy mají hmoty 235 a 238, lze očekávat existenci uranových izotopů stabilních vůči okamžitému rozpadu pro hmotová čísla mezi 195 a 302.

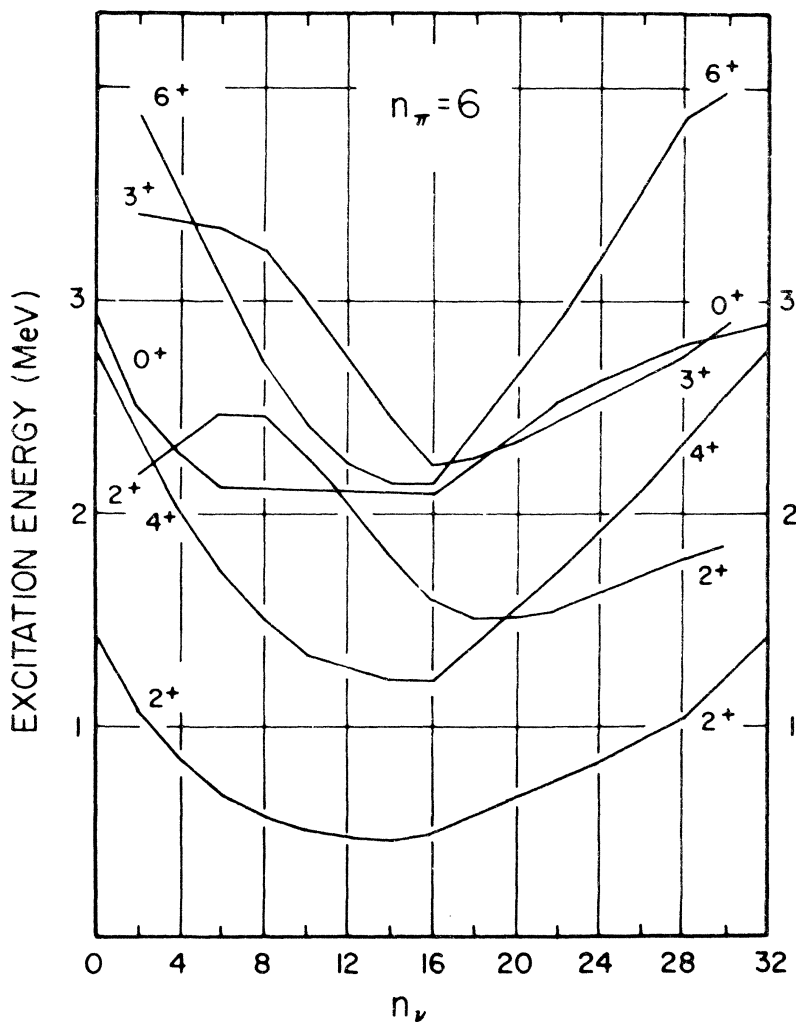
měření na prvcích v oblasti olova, které byly provedeny v Yale a dalších laboratořích, dovolilo předpovědět další možné oblasti stability nebo alespoň kvazistability pro atomová čísla 114 a 126, bude-li možno takovéto prvky vytvořit. O tyto prvky je mezinárodně velký zájem, částečně také proto, že výpočty, které předpovídají jejich zvýšenou stabilitu, předpovídají zároveň emisi asi deseti neutronů (pro uran a plutonium je to asi 2,5) při rozpadu takových supertransuranových prvků. Přes usilovné hledání těchto prvků v USA, v SSSR a v Německu při srážkách urychlených těžkých jader, kde, jak se doufá, je alespoň malá pravděpodobnost požadovaného sloučení, nebyla zatím existence těžkých prvků prokázána; experimenty však pokračují. Během několika posledních let se již dvakrát zdálo, že byly objeveny jiné důkazy supertransuranových prvků. Spolupráce Texas – Oak Ridge – Florida oznámila přítomnost rentgenového záření odpovídajícího přítomnosti prvků okolo $Z = 126$ při studiu rentgenového záření indukovaného protony v materiálu ze středu tzv. korony v madagaskarské slídě, o kterém se předpokládalo, že je výsledkem radiačního poškození způsobeného vysoce energetickými částicemi alfa z prvotních supertěžkých prvků. Bohužel následující měření ukázala, že toto záření je spíše jaderného než atomového původu a že pochází z jaderné reakce indukované protony v ceru, který slída obsahuje. V přibližně stejné době skupiny pracující v Dubně a v Chicagu s částmi meteoritu Allende, který spadl v severním Mexiku v roce 1969, a užívající naprosto odlišné experimentální techniky oznámily objevy svědčící o přítomnosti prvků se $Z = 110$. Bohužel tyto objevy nebyly doposud potvrzeny, takže otázka supertransuranových prvků zůstává otevřena. Lze však říci, že tyto prvky nejsou ani tak hojné, ani nemají tak dlouhou dobu života, jak uváděly první optimistické výpočty. Můj osobní pocit je, že supertěžké prvky se nakonec projeví spíše jako rezonance při interakci těžkých iontů (velmi podobně jako na obrázku 1) než jako stabilní objekty a jako rezonance budou i studovány.

Hledání nových jader daleko od údolí stability tvoří velmi rozsáhlou oblast fyziky zaměstnávající pracovníky na celém světě. Neboť tato jádra popisují obzvláště jemnou rovnováhu mezi přitažlivými jadernými a odpudivými elektrostatickými silami, studium jejich vlastností poskytuje mnohem citlivější test modelů jaderné struktury a teorií než podobné studium stabilních jader. Všimněme si na obrázku 10, že cín mající 50 protonů, by podle výpočtů mohl být stabilní vůči okamžitému rozpadu pro 42 až 126 neutronů, tj. celkem pro 84 izotopů. Z těch bylo dosud pozorováno celkem 26, 10 stabilních a 16 radioizotopů. Jak ukáží dále, bohatství možných radioizotopů má velmi důležité důsledky pro fyzikální aplikace.

Otázka, co se stane, přidáme-li jádru další energii, je dlouho jednou z ústředních otázek jaderné fyziky a značná část úsilí na tomto poli bádání byla věnována charakterizaci odpovídajících kvantových stavů, což je náplní spektroskopie. Vzbuzené kvantové stavy jsou ve skutečnosti řešením nedostatečně specifikované jaderné Schrödingerovy rovnice a jsou přístupné přímému studiu. Až donedávna se snahy porozumět vzbuzeným stavům a vyložit jejich strukturu zaměřovaly na extrémní modely: modely individuálních částic, kde jednotlivé protony a neutrony se pohybují ve středním poli ostatních částic, a kolektivní modely uvažující rotaci a vibraci celého souboru. Charakteristické energie obou těchto pohybů jsou srovnatelné (na rozdíl od případů atomových a molekulárních), tyto pohyby nejsou tedy oddělitelné a je nutno je uvažovat najednou. Zatímco extrémní

modely se ukázaly užitečnými v případech uzavřených slupek nebo naopak pro jádra daleko od nich, ostatní jádra zůstala nevysvětlena stejně tak jako zjevné rozpory mezi jednotlivými modely.

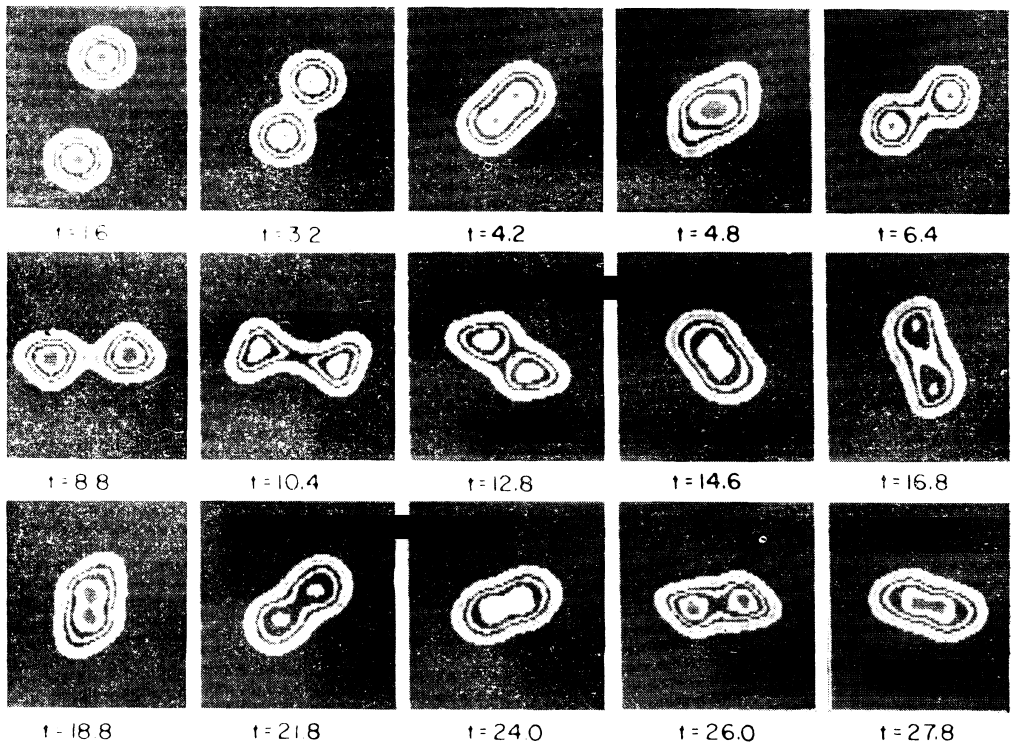
Ve zcela novém přístupu v aproximaci interagujících bosonů se předpokládá, že jádro se sestává pouze z bosonů vytvořených neutronovými nebo protonovými páry (velmi připomínajícími Cooperovy páry v teorii supravodivosti), které mohou existovat pouze v „s“ nebo „d“ stavu a z případného valenčního nukleonu, je-li celkový počet nukleonů lichý. Obr. 11 ukazuje typické výpočty v takovémto, v podstatě jednoduchém modelu



Obr. 11. Předpovědi modelů interagujících bosonů pro energie nízkoležících kvantových stavů jaderného systému s 12 valenčními protony, které leží mimo uzavřenou hlavní slupku, jako funkci přítomných neutronů. n_π a n_v označují počet protonových, resp. neutronových párů a křivky jsou označeny spinem a paritou příslušné excitace. Tyto výpočty provedl Francesco Iachello se svými spolupracovníky.

pro situaci, kde je 12 protonů mimo poslední hlavní slupku a 0 až 64 neutronů. Tento model nejen správně reprodukuje vibrační pohyb blízko uzavřených slupek a rotační pohyb, když se od nich vzdalujeme, ale zahrnuje kvantitativně stejně dobře i přechodovou oblast. Anomální chování druhého $2+$ stavu, které je zde připomenuto, je přesně to, co se pozoruje a co není reprodukováno žádným jiným modelem.

Aproximace interagujících bosonů je zcela nová, ale již nyní dává naděje na sjednocení všech předcházejících jaderných modelů a na nové předpovědi přístupné experimentálnímu ověření. Ve své původní aplikaci na jadernou spektroskopii se ukázala velmi úspěšnou. Ptáme-li se znovu, co se stane v obecnějším smyslu, přidáme-li energii jádru, zjistili jsme v Yale, že se jádra rozpínají stejně, jako když zahříváme makroskopické objekty, a že jaderný poloměr roste asi o 10^{-14} cm pro každý MeV přidané energie. Kdyby to bylo vše, co se s jádry děje, byly by to neobyčejně nudné objekty. V roce 1960 však moje skupina v Chalk River prvně objevila jaderné molekuly. Je-li jádru dodávána energie, přeskupí se při jistých hodnotách do dvou nebo více dobře definovaných podstruktur, které rotují a vibrují ve vznešeném molekulárním menuetu. Odkrylo



Obr. 12. Výsledky 3rozměrných hartreeských-fokovských výpočtů Flocarda, Koonina a Weisse pro interakci jader $O^{16} + O^{16}$. Jsou zde znázorněny obrysové linie rozložení hustoty pro necentrální srážku s těžišťovou energií 52.5 MeV a vzájemným úhlovým momentem 13 \hbar vyintegrované ve směru kolmém k rozptylové rovině. Časy udávané pod každým obrázkem jsou uvedeny v jednotkách 10^{-22} s. Omezená počítačová kapacita nedovolila další sledování srážky, ale rotační a vibrační charakteristiky této molekulové interakce jsou zřejmé.

to kvalitativně nový aspekt jaderné struktury a dynamiky, který s příchodem urychlování těžkých iontů se stal mezinárodně velmi aktivní oblastí jaderné vědy. Hlavního pokroku bylo dosaženo při chápání tohoto molekulárního chování na mikroskopické úrovni.

Obrázek 12 ukazuje výpočty rozložení hustoty srážejících se jader kyslíku provedené v Lawrence Livermore Laboratory a užívající časově závislého Hartreeova-Fokova modelu ve třech dimenzích. Vytváření molekulárních konfigurací je v těchto výpočtech jasně patrné, stejně jako rotace a vibrace molekulárního komplexu. Charakteristickým rysem těchto výpočtů je, že rozpadne-li se nakonec molekula na původní jádra, značná část energie se převede z relativního pohybu na vnitřní excitace fragmentů. Tyto výpočty také objasňují problémy pokusů sloučit při srážkách těžké prvky tak, aby vytvořily supertěžké elementy ve stavech blízkých základnímu stavu, které se okamžitě nerozpadají uvolněním vnitřní excitační energie. Prováděné rozsáhlé výpočty jsou sice stále ještě založeny na dosti hrubých předpokladech, ale přesto poskytly nový důležitý pohled na mechanismy, které ovládají interakci relativně dosti velkých shluků jaderné hmoty.

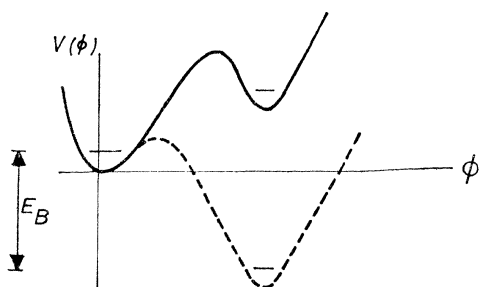
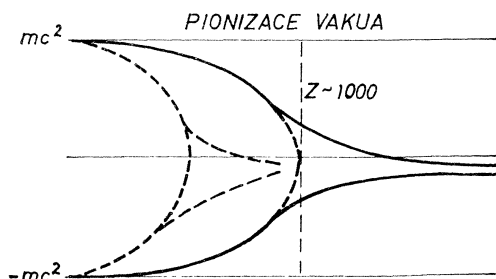
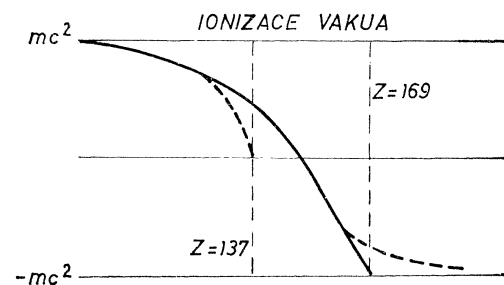
Obrázek 13 ilustruje použití jader při vyšetřování základních fyzikálních principů, v tomto případě kvantové elektrodynamiky, která je zatím nejpřesnější vyvinutou teorií, a chování hmoty v extrémně silných polích. Po zjištění, že charakteristické rychlosti srážejících se těžkých jader jsou o řád menší než rychlosti elektronů v molekulách, navrhly nezávisle skupiny ve Frankfurtu a Moskvě, že při těchto srážkách se okolo jader mohou vytvářet přechodné kvazimolekulární elektronové konfigurace, které odpovídají atomům s atomovým číslem rovným součtu atomových čísel srážejících se jader. Zhruba řečeno, elektrony neumějí rozlišit dvě blízká uranová jádra a jádro jediné mající $2 \times 92 = 184$ protonů. Že tato domněnka byla správná a že tak lze získat přístup do nové oblasti atomových jevů, bylo poprvé zjištěno v Yale, kde v rentgenovém záření emitovaném při jaderných srážkách byly objeveny projevy Coriolisových sil v soustavě srážejících se jader. Spolupracující skupiny z Yale, Mnichova a Darmstadtu užívají nyní pro tyto účely jediný vhodný urychlovač UNILAC v Darmstadtu pro hledání osamělých pozitronů. Pozitrony by měly být emitovány např. při uran-uranových srážkách, pokud by díra na K-slupce, s energií větší větší než dvojnásobek klidové hmoty elektronu byla zaplněna elektronem se zápornou hmotou z Diracova moře. Pokud by tyto pokusy byly úspěšné (a první výsledky jsou slibné), pak by dovolily prověření kvantové elektrodynamiky v procesech, kde její efekty jsou dominující na rozdíl od měření velmi malých korekcí procesů atomové fyziky. Paralelně s touto prací je v mnoha laboratořích na celém světě intenzivně vyšetřována úplně nová oblast vysokoenergetické atomové fyziky, ve které je studována atomová struktura těchto přechodných superatomů.

Opustíme-li to, co lze nazvat ionizací vakua podle Diracovy rovnice, přijdeme k tomu, co lze nazvat pionizací vakua podle Kleinovy-Gordanovy rovnice. Skupina kolumbijské univerzity se domnívá, že působení extrémních polí na jadernou hmotu, což lze provést např. vysokoenergetickými srážkami těžkých jader, může vytvořit zcela nový druh hmoty, která má vazbovou energii asi 150 MeV/nukleon na rozdíl od 8 MeV/nukleon v normální hmotě. Většina z nukleonové klidové hmoty pak vytvoří pionový kondenzát, ve kterém se ochuzené nukleony pohybují. Tato nová konfigurace může být stabilní

nebo vytvářet izomerní kvazistabilní stavy podle toho, který z potenciálů na obr. 13 je správný.

Je vhodné zdůraznit, že zatímco ve fyzice elementárních částic je snaha soustředit čím dále tím více energie do stále menších objemů, v jaderné fyzice se snažíme soustředit přibližně stejné množství energie do relativně velkých objemů obsahujících velký počet nukleonů, takže lze očekávat kvalitativně nové kolektivní jevy.

V současné době existují pouze dvě zařízení dávající dostatečné energie, při kterých lze aspoň částečně ověřovat uvedené domněnky. Jsou to Bevelac v Berkeley a synchrořázotron v Dubně; Bevalac urychluje lehká jádra až na 2 GeV/nukleon, zatímco v Dubně jsou energie zhruba dvakrát větší. Ačkoli mnoho otázek zůstává nejasných, předběžná data z Berkeley i z Dubny zpracovaná ve spolupráci s frankfurtskou univerzitou a s Ber-



Obr. 13. Horní část tohoto obrázku znázorňuje chování elektronů popsaných Diracovou rovnicí při vzrůstu coulombického pole, který je dán přechodem k vyšším atomovým číslům. Kdyby jádro bylo bodové, pak by elektrony K-slupky, vázané ve vodíku pouze energií 13.6 eV, byly pro $Z = 137$ vázané energií rovnou dvojnásobku klidové hmoty elektronu. Započítáme-li efekty konečného rozměru jádra, přejde toto atomové kritické číslo na $Z = 169$. Různé korekční členy pro Diracovu rovnici uvedené vpravo zabraňují ponoření K-slupky do Diracova moře a dávají závislost její energie znázorněné čárkovanou křivkou. Bylo však vyloženo, že dosud známá data, týkající se atomové struktury, vylučují přítomnost takovýchto korekčních členů a všechny současné modely předpokládají, že K-slupka se skutečně vnoří do moře částic se zápornou energií. Prostřední část obrázku popisuje chování pionů popsané Kleinovou-Gordanovou rovnicí a vystavených působení vzrůstajícího skalárního pole. Naznačené korekční členy mohou vazebnou energii modifikovat tak, jak je patrné z obrázku. Pro všechny případy však platí, že se vzrůstajícím polem rychle klesá energie potřebná k vytvoření pionových párů. Obrázky potenciálů ve spodní části ukazují dvě možné varianty: plná čára zobrazuje případ, kdy vzrůst skalárního pole odpovídá vzrůstu jaderné hustoty, což by vedlo k velkému počtu izomerních stavů soustředěných v horní jámě; čárkovaná čára naznačuje možné vytvoření úplně nového typu jaderné hmoty. Která z těchto křivek je blíže realitě, není zatím známo.

keley ukazují na vznik rázových vln, konzistentních s poklesem potenciálu za prvním maximem, jak je patrné na obr. 13. Možnost nalezení zcela nového druhu jaderné hmoty je jedním z hlavních argumentů pro konstrukci nových urychlovačů těžkých iontů, které jsou v současné době pláncovány v mnoha zemích. Ukáže-li se, že takováto jaderná hmota s vysokou hustotou existuje a je stabilní, pak výpočty provedené na kolumbijské univerzitě předpovídají stabilní superjádra s atomovou hmotou od 350 do 100 000 na rozdíl od normálního rozsahu od 1 do 260. Mimoto, pokud by tato superjádra byla vystavena účinkům neutronových toků v okolí reaktorů, jejich hmota by rychle rostla až na $A = 100\,000$, pak by se jádra štěpila a štěpné fragmenty by opět rychle rostly, pokud by trval přísun neutronů. To by v principu mohl být nádherný způsob, jak uchovávat energii, problémem však je, že nikdo nemá představu, jak by tato energie mohla být opět uvolněna.

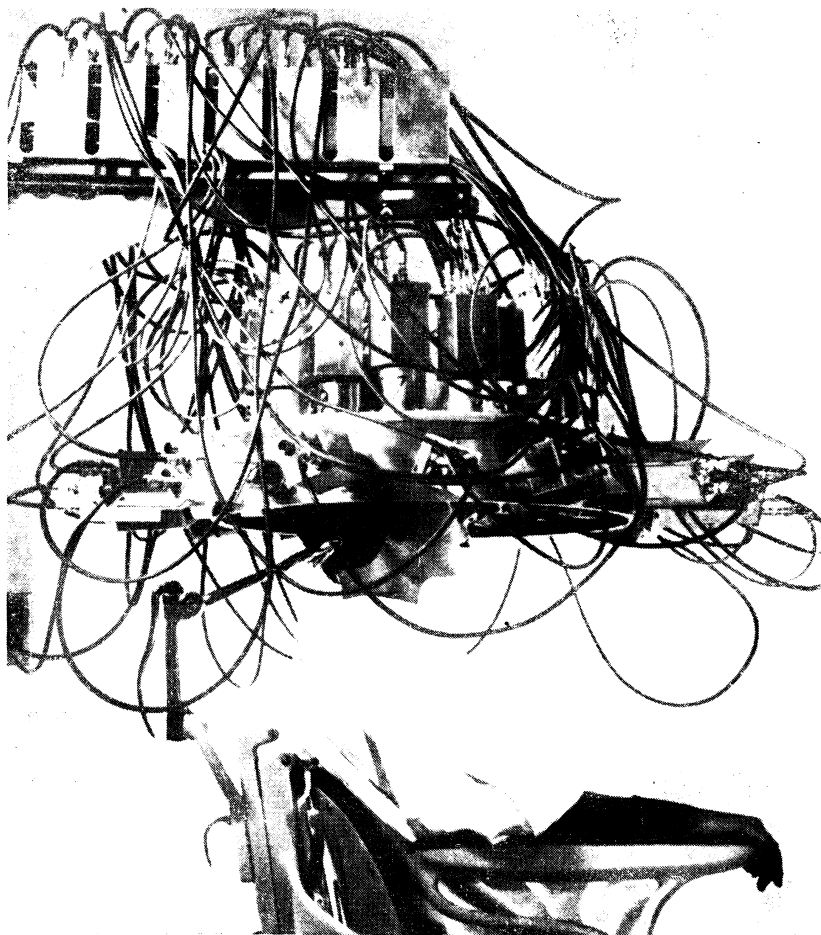
Dovolte mi přejít k aplikacím jaderné fyziky na společensky důležité problémy. Dosud v míře co největší převažuje užití radioizotopů v medicíně, ve výzkumu a technologii. Jeden z nejváženějších amerických biofyziků prohlásil, že využití jaderných izotopů, přístrojů a techniky posunulo v posledních pěti letech experimentální a klinickou medicínu o padesát let.

Zmínil jsem se již, že jaderná fyzika ve své celé historii zkoumala 1 600 různých jader. Přitom se však dá snadno spočítat, že při srážce svazku uranových jader s energií 2 GeV/nukleon s uranovým terčíkem vznikne asi 6 000 různých jader. Obvyklá reakce je: „Kdo je potřebuje?!“. Ale tato reakce je zcela nemístná. Po dlouhém přípravném období jsme konečně dosáhli věku „na míru šitých“ radioizotopů. Je-li dán požadovaný poločas rozpadu a vyzařovací charakteristiky nutné pro dané aplikace, jaderní fyzikové je mohou se značnou pravděpodobností poskytnout. Důsledky toho jsou pro zmírnění lidského utrpení dalekosáhlé. Dovolte mi uvést dva příklady. Známeho faktu, že určité lidské orgány se vyznačují náchylností shromažďovat jisté prvky – štítná žláza jód, gonády zinek, atd., lékaři již dlouho využívají k pokusům zničit rakovinové nádory v těchto orgánech radioizotopů příslušného prvku. Pro štítnou žlázu se např. dlouho používal jód 131, ale byly zde podstatné problémy. Tento izotop má poločas rozpadu 8 dní a záření zasahovalo nejen štítnou žlázu, ale také pacientovu hlavu, což vedlo k mnoha nepříjemným vedlejším účinkům. Vedení snahou o zlepšení nabídli jaderní fyzikové jód 123 s poločasem rozpadu pouze 13 hodin a zářením omezeným pouze na štítnou žlázu. V minulých letech jen v samotných Spojených státech více než 400 tisíc pacientů užívalo jód 123. To je pouze jeden z mnoha případů z použití radioizotopů v klinické léčbě.

Velký pokrok byl učiněn též ve využití některých radioizotopů v diagnostice. Zejména se to týká použití pozitronových zářičů s nízkou energií, které se ukládají v určitých orgánech. Při rozpadu těchto pozitronů jsou emitovány 2 fotony ve vzájemně opačných směrech s energií 511 keV. Koincidenční detekcí těchto fotonů je možno určit místo koncentrace radioizotopů s milimetrovou a někdy i lepší přesností. Obr. 14 ukazuje Angerovu kameru vyvinutou v Brookhavenu pro lokalizaci nádorů. Po podání vhodného krátkožijícího pozitronového zářiče je pacient prohlédnut takovouto kamerou spojenou s vhodným počítačem a během několika minut je možné lokalizovat i takové

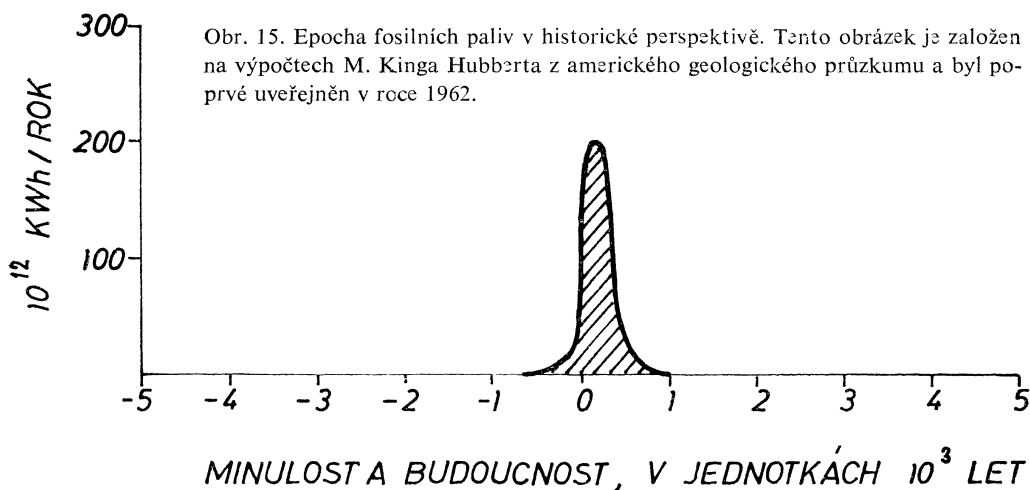
nádory, které by jinak pro svou malost nebo odlehlost byly těžko objevitelné. Lokalizace nádorů je nezbytná pro jejich odstranění ať již chirurgicky, nebo ozářením.

Zde všude jsou důležité přístroje používané v jaderné fyzice. Kamera na obr. 14 využívá násobné scintilační detektory a standardní způsoby jaderné fyziky při zpracování signálů. Pozitronové zářiče se vyrábějí přímo v nemocnicích pomocí malých cyklotronů nebo jiných urychlovačů, jejichž počet a rozšíření stále vzrůstá. Proto také oddělení intenzivní péče v moderních nemocnicích v mnohém připomínají laboratoř jaderné fyziky. To není tak překvapující, neboť hlavní problém, totiž zpracování a využití obrovského množství analogických informací tak, aby umožnily další žádoucí pokrok je společný pro základní výzkum i léčení. Jaderná medicína je jednou z nejrychleji se rozvíjejících lékařských specializací a je životně důležitou styčnou disciplínou.



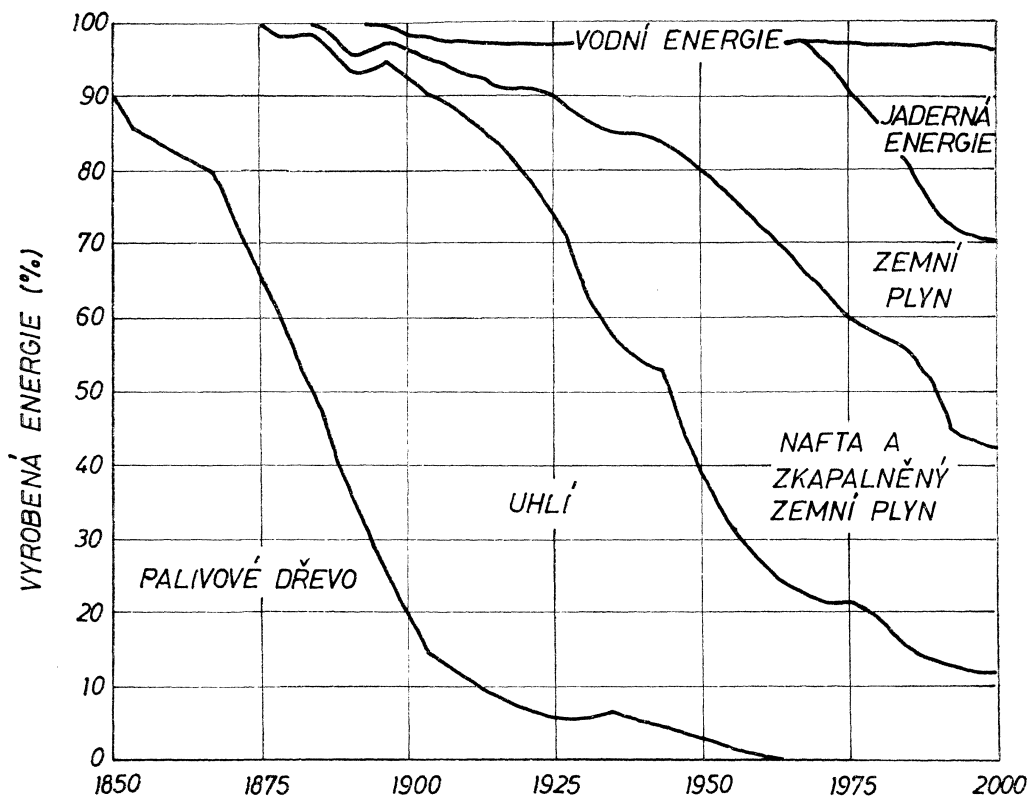
Obr. 14. Lokátor mozkových nádorů. Angerova kamera zobrazuje část mozku tím, že gama-záření radioizotopy produkované prochází kolimátory do scintilátorů. Ve fotonásobičových trubkách se detekují signály, které jsou zpracovány a zobrazeny počítačem. Každý rok se provádí okolo 10 miliónů snímků (z toho 3/4 ve Spojených státech).

Obr. 15 zdůrazňuje nutnost dalšího důležitého využití jaderné fyziky tentokrát v energetice. Často slyšíme obavy, že následující generace nás budou proklínat za to, že jsme jim odkázali problém jaderného odpadu. Nicméně je jasné, že ještě horší bude jejich reakce na spalování fosilních paliv, která příroda miliardy let ukládala na této planetě a která v budoucnosti budou mít ještě důležitější význam jako surovina pro výrobu léků, plastických hmot a chemikálií.



Důležitou stránku energetického problému Spojených států ilustruje obr. 16. Jinde se sice některá data mohou lišit, ale časové konstanty nikoliv. V roce 1850 pocházelo 90% energie ze spalování dřeva. Do roku 1900 přešlo 70% výroby energie na uhlí, do roku 1950 rovněž 70% přešlo na naftu a zemní plyn a i při neoptimističtějších extrapolacích bude jaderná energie v roce 2000 přispívat k výrobě energie pouze asi 30 procenty. Zdroje vodních sil byly v USA vyčerpány v podstatě již počátkem tohoto století. Z tohoto obrázku tedy plyne důležité zjištění, že přechod k novému primárnímu zdroji energie trvá zhruba 50 let.

Dovolte mi, abych ukázal, jak podle mne vypadá budoucnost Spojených států, alespoň co se týče energie. Očekávám, že v období do roku 1990 významně vzroste naše závislost na uhlí a jaderné energii z reaktorů s lehkou vodou. Okolo r. 1990 budeme mít, aspoň doufám, lepší odhady přístupných uranových zásob a vyhlídek na energii z jaderné syntézy, takže budeme moci učinit strategické rozhodnutí, že nepotřebujeme zavádět technologii reaktorů s obohaceným uranem a budeme moci pokračovat ve spalování uranu silně neefektivním způsobem, který je charakteristický pro reaktory s lehkou vodou. Všimněte si, že to implicitně znamená, že okolo r. 1990 budeme mít vyvinutou technologii reaktorů s obohaceným uranem. Při nejistotě o pokroku v právě zmíněných odhadech si prostě nemůžeme dovolit nemít tuto alternativu a nepředvídané okolnosti mohou ukázat její důležitost. Jediná věc, která by podle mého názoru mohla významně urychlit náš přechod k jaderným zdrojům, a to se týká i ostatních národů, by mohl být jasný důkaz toho, že zvýšení obsahu kyslíčnicku uhlíčitého v atmosféře naší planety



Obr. 16. Fosilní paliva jsou v současné době téměř veškerým zdrojem energie americké energetiky. Po druhé světové válce klesl podíl uhlí, zatímco podíl zemního plynu v tomto období vzrostl. Jaderná energie by měla začít podstatně přispívat v příštích 20 letech.

o miliardy tun, díky spalování fosilních paliv zhruba od roku 1880, vede k nezvratnému skleníkovému efektu, tj. ke zvyšování průměrných teplot, což je doprovázené katastrofickými důsledky, které pramení např. z roztátí grónských ledovců. Zde je hlavní neznámou chování kysličníku uhličitého při styku atmosféry s oceánem. To je nyní klíčový problém, se kterým se v současné době potýkají jak fyzikové a chemici, tak meteorologové a oceánologové.

I když připustíme, že v současném desetiletí*) se v laboratorním měřítku zdaří jaderná syntéza s vyrovnanou energetickou bilancí při použití velice složitých zařízení, nevěřím, že by ekonomicky významné množství energie z jaderné syntézy bylo k dispozici před rokem 2020 a možná, že to bude ještě mnohem později. Proč pokračuje tak pomalu ovládnutí tohoto energetického zdroje, jsou-li známy jeho principiální výhody?

V současné době je tato oblast hlavním směrem náporu mezinárodní výzkumné činnosti ve fyzice plazmatu.

(Pokračování)

*) Pozn. překl.: Autor zřejmě myslí léta sedmdesátá.