

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

N. N. Bogoljubov

Význam základního výzkumu v oblasti jaderné fyziky

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie, Vol. 21 (1976), No. 4, 192--198

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/139506>

Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 1976

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>

Význam základního výzkumu v oblasti jaderné fyziky

*N. N. Bogoljubov, Dubna**)

V posledních třech desetiletích jsme svědky rychlého rozvoje jaderné fyziky. Pokrok v tomto oboru je skutečně neobyčejně veliký. Dospělo se k důležitým objevům, které umožňují hlubší poznání přírody. Rozšiřuje se oblast teoretického a experimentálního bádání, zakládají se nové instituty a laboratoře, staví se velká fyzikální zařízení. Avšak v zájmu objektivnosti je třeba poznamenat, že čas od času ve vyskytují hlasy pochybující o nutnosti zvyšovat tempo rozvoje jaderné fyziky. Pokusím se ocenit význam základního výzkumu v této oblasti vědy pro společnost.

Pojem „jaderná fyzika“ zahrnuje v současné době fyziku elementárních částic a fyziku atomového jádra. Pokud chceme vědecký výzkum rozdělovat na základní a aplikovaný, pak jadernou fyziku je třeba zařadit do oblasti základního výzkumu. Cílem základního výzkumu je odhalování a studium zákonitostí světa, který nás obklopuje. Pokud daná zákonitost není dostatečně prostudována, není možné její úplné využití pro praktické účely.

V souvislosti s tím se mně zdá účelné zpočátku krátce vysvětlit význam jaderné fyziky pro vědu jako takovou a pak její roli v praktických aplikacích.

Fyzika elementárních částic zahrnuje neobyčejně širokou problematiku; pro její potřebu se budují nejnovější aparatury a zařízení — mezi nimi gigantické urychlovače elementárních částic a umělé družice Země. Není tedy divu, že se často nazývá průmyslovou vědou. Laboratoře, ve kterých se studuje fyzika vysokých energií, dnes připomínají mohutné závody a vůbec se nepodobají fyzikálním laboratořím před půl stoletím, ve kterých byly položeny základy jaderné fyziky. Čím je určován zájem o základní výzkum ve fyzice elementárních částic v sedmdesátých letech našeho století?

První a pravděpodobně hlavní aspekt problému záleží v tom, že jakkoliv do hloubky se zaměříme při zkoumání hmoty, množství nezodpověděných otázek se nezmenší a hlavním stimulem při tom stále zůstává zvědavost badatele. Jestliže za několik desetiletí nebo staletí přejde předmět současné fyziky elementárních částic — procesy, které probíhají ve velice krátkých časových intervalech $10^{-8} - 10^{-24}$ s — do oblasti aplikovaného výzkumu, je možno s jistotou říci, že se objeví nová fundamentální věda, která se bude zabývat studiem interakcí částic mikrosvěta v ještě menších prostoro-časových oblastech. Může se samozřejmě také stát, že se změní samotná formulace problému. Ale taková už je struktura lidského vědění. Zatímco v jedné oblasti teprve uvažujeme o tom, jakou otázku přírodě položit, v druhé už sklízíme plody své zvědavosti. V tomto smyslu bude základní výzkum součástí vědy vždy.

*) Překlad přednášky, kterou akademik N. N. BOGOLJUBOV, ředitel Spojeného ústavu jaderných výzkumů (SÚJV) v Dubně, přednesl při své návštěvě ČSSR na FJFI ČVUT 23. 6. 1975. SÚJV v Dubně slaví 23. 9. letošního roku 20. výročí založení.

Ve snaze pochopit stavbu hmoty, rozšířit představy o struktuře prostoročasu, došli fyzici k závěru, že v přírodě existují čtyři typy základních interakcí: gravitační, elektromagnetické, silné a slabé.

Gravitační a elektromagnetické interakce jsou známy už dávno. Síly, které jsou odpovědné za tyto interakce, jsou silami dlouhého dosahu a projevují se v mnohých makroskopických jevech využívaných v praxi člověkem.

Silné a slabé interakce mají mnohem specifičtější charakter. Setkali jsme se s nimi, když jsme přistoupili k detailnímu zkoumání stavby atomových jader a studiu elementárních částic.

Základní interakce jsou odpovědné za velký soubor jevů probíhajících ve vesmíru: od pohybu nebeských těles a evoluce hvězd po nejjemnější jevy probíhající v elementárních částicích. Fyzika elementárních částic je jedním z nejdůležitějších oborů, který umožňuje jak detailní studium základních interakcí, tak i hledání nových typů sil.

Zatím jsme rozdělili interakce podle jejich principiálních, kvalitativních rozdílů, a nyní se dostáváme k otázce, zda je naše systematika interakcí úplná. Neexistují v přírodě ještě jiné interakce principiálního charakteru? Hledání nových typů interakcí je a bude základním úkolem mnohých nových experimentálních a teoretických výzkumů.

I když jsme se přesvědčili, že základní interakce se vzájemně podstatně liší, ocitáme se přesto před otázkou, zda mají něco společného. Nejsou vlastně různými projevy jedné fundamentální interakce? Hledání této společné podstaty bude předmětem vážného teoretického zkoumání v nejbližší budoucnosti.

Je nepochybné, že odpovědi na tyto otázky není možno dát bez detailního studia základních interakcí. Experimenty, které se prováděly v posledních letech v mnohých světových laboratořích, poskytly bohatý materiál pro bezprostřední rozvoj teoretického aparátu.

Protože nemám možnost podrobně hovořit o výzkumech ve fyzice elementárních částic, v podstatě jsem jen vyjmenoval problémy, jejichž řešení rozvíjí tuto oblast vědy. Šířku záběru studovaných otázek bych chtěl ilustrovat na příkladě jednoho z problémů současné fyziky elementárních částic. Tímto problémem je např. klasifikace elementárních částic. V současné době je počet těchto částic tak velký, že je nutné

- a) klasifikovat je podle nějakého dostatečně zdůvodněného schématu;
- b) pokusit se prostudovat, které z nich jsou skutečně „elementární“, nebo pokud takové neexistují, zjistit ty, které by mohly aspirovat na to, aby byly základními „stavebními kameny světa“;
- c) jestliže samotná situace s elementárností se ukáže beznadějná, snažit se o objasnění, jakým způsobem je třeba popisovat mnohotvárnost částic různých typů, aniž bychom se přitom opírali o pojem elementárnosti.

Tento program se v posledních deseti letech úspěšně realizoval, ale je třeba říci, že zatím jsme spíše na začátku než na konci cesty. Snažíme se vytvořit nějakou logickou systematiku elementárních částic, částečně podobnou periodickému zákonu Mendělejevovu. Je třeba si však uvědomit, že trvalo přes padesát let, než nám kvantová mechanika umožnila pochopit podstatu tohoto zákona. Stěží je možno očekávat, že v případě elementárních částic bude třeba menšího úsilí k pochopení jejich podstaty. Mnozí

teoretikové častokrát dospívají k závěru, že už nyní máme k dispozici nadbytek experimentálních informací. Zdá se, že pod přívalem stále nových a nových experimentálních dat nemáme čas se zastavit, hlouběji promyslet a klasifikovat základní fakta. Avšak hlubší úvahy nás na závěr přesvědčují, že spíše než s nadbytkem máme co činit s nedostatkem informací, především informací principiální důležitosti. Právě to umožňuje značnou volnost v našich teoretických představách.

Dá se těžko předpovědět, kde lze získat nová fakta fundamentálního charakteru. Je možné pouze upozornit na dobře známý fakt, že největší pravděpodobnost získat kvantitativně a především kvalitativně novou informaci existuje při přechodu k vysokým energiím. K vysokým energiím směřujeme proto, že při nich máme možnost studovat interakce v neobyčejně malých, dříve nedostupných časoprostorových oblastech: z historického hlediska přechod k podstatně vyšším energiím se vždy ospravedlňoval bohatstvím kvalitativně nových informací, které jsme dostali k dispozici, a můžeme oprávněně doufat, že tomu tak bude i v budoucnu. Proto se také snahy fyziků zabývajících se elementárními částicemi budovat ohromná experimentální zařízení a urychlovače setkávají s porozuměním, nehledě na neobyčejný vzrůst nákladů nutných k vybavení těchto zařízení.

Fyzika atomového jádra také patří k fundamentálním vědám a tvoří jeden z jejich základních směrů. Cílem je poznání struktury atomového jádra. Studium struktury atomového jádra a mechanismu jaderných reakcí má základní vědecký význam. To je spojeno za prvé s výjimečně důležitou rolí atomových jader v přírodě a za druhé s tím, že studium systému silně interagujících částic, kterým atomové jádro je, dá ve srovnání se studiem elementárního aktu interakce dvou částic úplnější informaci o vlastnostech částic. Atomové jádro je základní a určující částí naší přírody. V něm je soustředěna téměř veškerá hmota; hmota a náboj určují stavbu elektronového obalu a tím i nejzákladnější chemické i fyzikální vlastnosti atomu.

Problém mnoha částic je zdrojem úplnější informace než problém dvoučásticový. Četné zákonitosti fyziky atomového jádra jsou zcela nové. Při studiu struktury jádra vyvstává zároveň s otázkou vlastností jaderných sil i otázka, za jakých podmínek se tyto síly mohou projevit a kdy je jejich působení podstatně omezeno. Atomové jádro je vhodný objekt pro studium mnohočásticové úlohy. Je vhodnější než atom, u něhož je základní silový zdroj zkoncentrován ve středu.

Atomové jádro je velice složitý systém silně interagujících částic, charakterizovaný velkým počtem stupňů volnosti. Při studiu struktury jádra je třeba použít mnohé experimentální přístroje založené na fyzikálních procesech se silnými, elektromagnetickými a slabými interakcemi. Velice důležitý je rozvoj teorie atomového jádra a těsné spojení teorie s experimentem.

Práce z oblasti fyziky atomového jádra sledují dva cíle: studium struktury jádra jako takového a studium elementárních interakcí, které se navenek projevují ve vlastnostech jader. Zastavíme se nyní u otázek spojených s poznáním struktury jádra. Zvláštností této oblasti fyziky je, že studium struktury atomového jádra se vyvíjí dvěma směry. Prvním je měření charakteristik základních a vzbuzených stavů a druhým je rozšiřování oboru studovaných jader od oblasti beta-stability k oblasti supertěžkých elementů.

V přírodě existuje okolo 300 stabilních izotopů z celkového počtu 6000 izotopů. V současné době se zkoumá asi 1600 izotopů, z nichž byla prostudována jen malá část. Pro pochopení struktury jádra nestačí omezit se na studium jednoho typu jader. Stavba lehkých jader se liší od stavby středních a těžkých jader. Struktura deformovaných jader se silně odlišuje od struktury sférických jader atd. Velké rozdíly se zjišťují dokonce mezi deformovanými jádry.

Proto, nehledě na to, že síly působící mezi nukleony jsou stejné ve všech jádrech, je struktura jádra různá a není možné ji objasnit bez podstatného rozšíření oblasti studovaných jader. Toto rozšíření se uskutečňuje jednak studiem jader mimo oblast beta-stability a jednak studiem supertěžkých jader.

Studium struktury atomového jádra je těsně spjata s vyjasněním mechanismu jaderných reakcí. Úspěch ve výkladu přímých jaderných reakcí umožňuje získat cenné poznatky o jaderné struktuře. Při všeobecně vzrůstající úloze jaderných reakcí se stále zvětšuje důležitost reakcí s těžkými ionty.

Každým rokem vzrůstá množství informací o stavbě jádra získávaných z interakcí částic středních a vysokých energií s jádry. Novým důležitým krokem je výstavba mezonových továren produkujících intenzivní svazky protonů a mezonů.

Velké naděje jsou spojeny se studiem hyperjader. Ve středních a těžkých jádrech jsou potlačeny jaderné síly dalekého dosahu. Hyperon se může cítit uvnitř jádra mnohem svobodněji, neboť jeho působení není omezeno Pauliho principem. Proto hyperon může sloužit jako nástroj umožňující prozkoumat vnitřní části jádra. Z toho důvodu lze předpokládat, že hyperjaderná fyzika nahradí do značné míry jadernou fyziku.

Teoretická fyzika jádra se začala rozvíjet před více než třiceti lety po objevu neutronu a neutron-protonové skladby jader. Vytvoření teorie jádra naráží na dva základní problémy. Za prvé: interakce mezi nukleony je velmi složitá a ne dost dobře známá. Za druhé: dokonce pro jednoduchý tvar sil vznikají vážné problémy při zkoumání vlastností systému, který se skládá z velkého, ale konečného počtu silně interagujících částic. V souvislosti s těmito potížemi se teorie jádra rozvíjela cestou hledání jednoduchých modelů.

Při budování současné teorie atomového jádra měly rozhodující význam matematické metody rozvinuté při budování teorie supratekutosti a supravodivosti. Bylo zjištěno, že typy interakcí, které vedou k vytváření supravodivého stavu v kovech, jsou také velmi důležité v atomových jádrech. Je to projev obecných vlastností částic, které se řídí Fermiho statistikou.

Pod vlivem těchto prací se zformuloval a dále rozvíjel základní směr, který se nazývá polomikroskopická teorie jádra. V rámci této teorie byly rychle rozřešeny četné problémy neřešené dřívější teorií jádra. Podařilo se vyřešit nejen některé základní problémy stavby sférických a deformovaných jader, ale také experimentální výzkum usměrnit požadovaným směrem.

Nyní přejdu k druhé části svého referátu a pokusím se odpovědět na otázku, jaký je význam základního výzkumu v oblasti jaderné fyziky pro praktické účely. Jde o to, jaký užitek získává společnost ze svých investic do vědy, kterou se zabývá pouze její malá část – vědci. Je to velmi těžká otázka, protože říci dnes, že určitá oblast základního výzkumu

dá zítřka takový užitek a jiná oblast za pět let povede k takovým a takovým aplikacím v průmyslu, je ve vědě vždy těžké a většinou prostě nemožné.

Dokonce se může zdát, že základní výzkum v jednom vědeckém oboru nepřináší v daný okamžik žádný užitek ani pro vědce sousedních oborů. Teprve později se ukáže, že to, co se zdálo čistě teoretickým základním výzkumem, vede k zavádění nových technických oborů. V souvislosti s tím připomeňme, že v třicátých letech se výzkumy v oblasti atomového jádra považovaly za tak abstraktní a tak odtržené od života, že se vyslovovaly pochyby o účelnosti třeba jen skromné finanční podpory. Mohu uvést příklad jednoho ze zakladatelů jaderné fyziky RUTHERFORDA, který v r. 1933 řekl: „Každý, kdo očekává získávání energie jako výsledek transmutace atomů, říká nesmysl“. Připomeňme si, že za několik let byl sestaven atomový reaktor. Kromě toho dlouho před tím, než se objevila myšlenka řízení termojaderné reakce, se úspěšně rozvíjel čistě abstraktní, teoretický přístup ke studiu plazmy. Tyto výzkumy pak našly široké uplatnění v problému řízení termojaderné syntézy.

Nebudu zde uvádět množství příkladů. Řeknu pouze, že v současné době jsme ve fyzice vysokých energií v analogické situaci. Zatím nevidíme velké možnosti aplikací, ale podle mého hlubokého přesvědčení je nepochybné, že pronikání do tajemství struktury hmoty a zákonů vzájemného působení jejich základních složek – elementárních částic, nás přivede k velkým, možná zcela neočekávaným praktickým aplikacím. Nebudu se zabývat předpověďmi a pouze připomenou, že naše společnost už dnes využívá výsledků rozvoje jaderné fyziky. Nejpřesvědčivější jsou, myslím, příklady z jaderné energetiky.

Před uspořádáním první ženevské konference v r. 1955 byla jaderná energetika reprezentována pouze jednou atomovou elektrárnou (Obninská – 5 MW), zatímco před čtvrtou konferencí v r. 1971 dosáhl počet energetických reaktorů, které pracovaly nebo byly ve výstavbě, více než 230. Podle údajů z tisku pracovalo začátkem roku 1975 asi 150 reaktorů a zhruba 160 jich bylo ve stadiu výstavby.

Lze říci, že uběhlo již více než deset let od doby, kdy jaderná energetika přešla od stadia experimentů k praktickému využití a elektrárny jaderné začaly konkurovat klasickým. V současné době ve velkém počtu zemí existují pětileté nebo dlouhodobé plány rozvoje atomové vědy a techniky.

Další perspektivní etapou v rozvoji jaderné energetiky se musí stát využití nového jaderného paliva – vysokoteplotní deuteronové plazmy. Chtěl bych zde zdůraznit, že díky iniciativě vynikajícího sovětského vědce, zesnulého akademika KURČATOVA, přestaly být v roce 1955 práce o termojaderné syntéze tajné, což mělo neobyčejně blahodárný vliv na celý další rozvoj této důležité oblasti.

Kromě vzpomínaných částí termojaderného programu, které se již staly tradičními, začala se v posledních letech rozvíjet relativně mladá odvětví. V nejposlednější době se značně rozšířily výzkumy o možnosti ohřátí látky mohutným světelným impulsem laseru.

Chtěl bych použít známá fakta a rozptýlit obavy některých lidí neseznámených se specifickostí jaderné energetiky. Mám na mysli obavy týkající se znečišťování životního prostředí. Konstrukce současných atomových elektráren prakticky vylučuje při normálním režimu práce spad produktů rozpadu do okolního prostředí. Dokonce v bezprostřední blízkosti atomové elektrárny mohou být obyvatelé zasaženi jen nepatrnou částí dávky přípustné pro obydlenou oblast. Zajímavé je srovnání důsledků práce tepelných a ato-

mových elektráren. Při práci klasických elektráren je třeba několik tisíckrát více vzduchu pro rozředění toxických látek na přípustnou úroveň než při práci elektráren atomových. Kromě toho množství vypouštěného tepla, které nakonec může způsobit nežádoucí klimatické změny, na jednotku užitečného výkonu je u atomových elektráren v důsledku vysokého koeficientu účinnosti podstatně menší než při práci klasických elektráren. Pracující atomová elektrárna nespotřebovává kyslík a nezpůsobuje neustálý vzrůst kyslíčnanu uhličitého v atmosféře.

Mezi další aplikace jaderné fyziky lze zahrnout rozvoj prací v aplikované radiochemii a realizace radiochemických procesů v průmyslových rozměrech. V některých zemích je na základě procesů radiační modifikace polymerních materiálů organizována průmyslová výroba různých materiálů a výrobků s unikátními vlastnostmi. Za zmínku stojí, že v rozvojových zemích se široce rozvinul výzkum v oblasti aplikované radiochemie zaměřený na průmyslovou realizaci radiačních procesů.

Poslední léta jsou charakterizována značným pokrokem v používání záření a radioaktivních izotopů v různých oborech lékařství. Značně se zdokonalily metody výzkumu radioizotopů, jejichž cílem je diagnóza různých lidských chorob. Základní tendence charakterizující rozvoj současné radioterapie je možno charakterizovat takto:

- a) rozšíření spektra typů jaderných záření používaných v radioterapeutické praxi (gama-záření, záření z betatronů a lineárních urychlovačů, protonová a π -mezonová terapie);
- b) zdokonalování fyzikálních parametrů a klinicko-metodických základů radioterapie, optimalizace programu léčení pomocí záření s cílem individuálního plánování na základě použití výpočetní techniky.

Důležitou úlohu v dalším zdokonalování radioizotopové diagnostiky a terapie hraje výstavba velkých radiologických center a příprava specialistů.

Svým vkladem přispívá radiologie k řešení takových důležitých problémů, jako je zabezpečení dostatku plnohodnotné potravy pro obyvatelstvo zeměkoule. Toho se dosahuje používáním vysoceproduktivních druhů zrnin získaných metodou radiační selekce, zdokonalováním způsobu sterilizace pomocí záření. Stále častěji se používá záření k indukování užitečných mutací u mikroorganismů.

Na závěr ještě několik slov o perspektivách, které před námi odhalují poznatky získané již v oblasti atomové vědy a techniky. Tyto perspektivy jsou velmi široké. Patří k nim i další aplikace v lékařství, biologii a zemědělství.

Z aplikací potřebujících velké množství energie je zvláště důležitý problém odslanění vody. Nelze zapomínat, že v nedaleké budoucnosti se může otázka získání neslané vody stát neobyčejně znepokojující. A právě pro velkou spotřebu energie se zde může podstatně uplatnit atomová technika.

Další z možných aplikací je otázka konstrukce a zdokonalování atomového pohonu. Už nyní existují mořská plavidla na atomový pohon. A až přijde doba letů na vzdálené planety, není pochyb o tom, že budou postaveny kosmické lodě na atomový pohon, které pomohou člověku dobývat kosmos.

Nakonec bych chtěl zdůraznit, že jaderná fyzika kromě své základní úlohy – formulace našich představ o mikrosvětě – v sobě tají bohaté možnosti působit na technický

pokrok, a to jak díky novým fyzikálním objevům, tak i díky mohutnému vlivu na ostatní vědy. Tento soubor aspektů studovaného problému je možno zařadit k přímým efektům základního výzkumu ve fyzice elementárních částic. Je však nutno si uvědomit, že kromě toho existuje i vedlejší vliv těchto výzkumů na technický pokrok, který není snadné ekonomicky vyjádřit, avšak jehož užitek je neobyčejně velký.

Rozvoj jaderné fyziky je doprovázen vývojem principiálně nových fyzikálních aparatur, nové techniky a metodiky, které nacházejí použití v mnohých oblastech vědy, techniky a národního hospodářství.

Mohu uvést z práce našeho ústavu několik příkladů takového vlivu metodiky fyzikálních výzkumů. Je nesporné, že rychlému a různorodému rozvoji současné výpočetní techniky napomáhaly požadavky fyzikálního experimentu. Výpočetní systémy sestrojené pro tyto účely se ve značné míře uplatňují i v jiných oblastech. Jistě jste slyšeli o používání svazků urychlených částic pro léčení zhoubných nádorů u člověka. Náš ústav je jedním z průkopníků těchto výzkumů. Na svazku protonů a nyní již i π -mezonů provádějí sovětští lékaři tyto práce současně s fyziky SÚJV Dubna. Specialisté ústavu získali zajímavé výsledky při vypracovávání metody radioaktivní analýzy. Byly navrženy metody kontroly znečišťování životního prostředí, studia úlohy mikroelementů v biologii, analýzy geologických vzorků.

Podrobněji bych chtěl promluvit o jedné z posledních prací našich specialistů. Jde o sestavení jaderných filtrů. Pro studium různých typů jaderných reakcí používají fyzikové tenké plastické vrstvy, v nichž jaderné částice zanechávají stopy. Jestliže jsou tyto částice ionty těžkých elementů – argonu, xenonu atd. – pak porušení plastické vrstvy je tak silné, že po dalším chemickém zpracování se v místech, kudy proletěla částice, objevují stopy. Rozměry všech těchto otvorů jsou stejné a mohou se vyrobit velice malé – menší, než jsou rozměry nejdrobnějších virů a bakterií. Takto proděravělé plastické vrstvy je možno použít jako filtry pro čištění kapalin a plynů, při výrobě polovodičových zařízení, pro čištění a dezinfekci pitné vody, pro stabilizaci vína a piva, po níž se tyto produkty mohou dlouho skladovat, aniž zkysnou atd. V ústavu je postaveno zařízení, které může tyto jaderné filtry produkovat.

Bylo by tedy nesprávné domnívat se, že rozvoj základního fyzikálního výzkumu, konstruování stále dražších velkých urychlovačů a reaktorů nepřináší již dnes lidstvu bezprostřední užitek. Dokonce i při rozvoji vědních oborů, které se zdají mít daleko k praktickému využití – fyziky elementárních částic a fyziky atomového jádra, vyvíjíme nové elektronické systémy včetně výpočetní techniky, nová kryogenní zařízení, používáme supravodiče atd. Výsledky řešení těchto problémů se ve značné míře uplatňují v různých sférách činnosti současné společnosti a zvyšují celkovou vědeckotechnickou úroveň společnosti.

Přeložil Petr Reimer