

# Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

---

Miroslav Finger

Spolupráce československých vysokoškolských pracovišť se Spojeným ústavem jaderných výzkumů na programech JASNAPP a SPIN

*Pokroky matematiky, fyziky a astronomie*, Vol. 23 (1978), No. 5, 272--277

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/138214>

## Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 1978

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>

# Spolupráce československých vysokoškolských pracovišť se Spojeným ústavem jaderných výzkumů na programech JASNAPP a SPIN

(K 25. výročí MFF UK)

*Miroslav Finger, Praha*

Málokterý z vědních oborů prošel za posledních několik desetiletí tak bouřlivým a rychlým vývojem jako jaderná fyzika. Dospělo se k významným objevům, které umožňují hlubší poznání přírody. Některé z těchto objevů již nyní našly i praktické využití. Změnil se i charakter výzkumu. Pro jeho potřebu se budují velké urychlovače, nejnovější aparatury a experimentální zařízení, moderní elektronika a výpočetní technika. Bez nich si současný výzkum nemůžeme již ani představit. Dnešní laboratoře, ve kterých se výzkum v oblasti jaderné fyziky provádí, se diametrálně liší od skromných laboratoří, ve kterých byly položeny základy jaderné fyziky. To se v plné míře vztahuje jak na oblast fyziky elementárních částic, tak i fyziky atomového jádra, které jsou dnes pod pojmem jaderná fyzika zahrnuty. Z tohoto hlediska založení Spojeného ústavu jaderných výzkumů (SÚJV) v Dubně u Moskvy v roce 1956 jako pracovního a koordinačního centra socialistických zemí v oblasti jaderné fyziky mělo zásadní význam pro rozvoj jaderné fyziky ve všech jeho členských zemích. Pociťala to i československá jaderná fyzika.

Na uskutečňování rozsáhlého programu experimentálního výzkumu v oblasti studia atomového jádra, koordinovaného SÚJV, se významnou měrou podílejí i československá vysokoškolská pracoviště. Cílem této práce je přispět k poznání struktury atomového jádra jako jedné ze základních a určujících částí přírody. Víme, že v atomovém jádru je soustředěna téměř veškerá hmota atomu. Hmota a náboj jádra určují stavbu elektronového obalu a tím i základní chemické a fyzikální vlastnosti atomů. Atomové jádro je však samo o sobě velmi složitý systém silně vzájemně na sebe působících částic. Navenek se struktura atomových jader a charakter elementárních interakcí částic v jádře projevují ve vlastnostech atomových jader a při jejich rozpadu též v charakteru jejich záření. Proto studium vlastností atomových jader a jejich vzájemných transformací má základní vědecký význam.

Podle posledních vědeckých výzkumů existuje v přírodě okolo 300 stabilních izotopů z celkového množství asi 6 000 izotopů, většinou radioaktivních, které by mohly na základě našich současných představ v přírodě existovat. V současné době se podařilo vyrobit na urychlovačích a reaktorech okolo 1500 izotopů, z nichž je prostudována jen část. I toto studium však ukázalo na silné odlišnosti ve stavbě jednotlivých druhů atomo-

vých jader. Velká pozornost se proto v současné době věnuje všestrannému studiu uměle vyrobených jader jak blízkých, tak hlavně vzdálených od oblasti tzv. beta-stability (tj. od stabilních jader). Aktuálnost této tematiky způsobila, že se v několika předních ústavech na světě začalo intenzívně pracovat na projektech zařízení, která by dovolila studovat jádra nacházející se daleko od linie stability. Taková zařízení pracují obvykle na vyvedeném svazku urychlených částic urychlovače a zahrnují systém pro výrobu odpovídajících radioaktivních izotopů, jejich chemické vydělení a rozdělení podle hmot, dále jejich přenos do měřicí aparatury, a to za dobu kratší, než je jejich doba života; vytvoření samotných měřicích aparatur potřebuje také vyřešení celé řady technických, fyzikálních, chemických i jiných problémů. Složitost problematiky si vyžádala, aby všechny problémy byly řešeny komplexně a v úzké spolupráci odborníků z různých oborů: fyziků experimentátorů i teoretiků, chemiků, matematiků, konstruktérů, odborníků v oblasti elektroniky, kryogeniky, výpočetní techniky apod. Vážným momentem spolupráce čs. vysokoškolských pracovišť se SÚJV v této oblasti je integrační prvek, který v našem případě zcela zákonitě vede k soustředění jen na vybrané problémy, avšak umožňuje jejich efektivní řešení. V současné době je spolupráce soustředěna na dva nosné výzkumné programy, které se za účasti pracovníků z matematicko-fyzikální fakulty University Karlovy (MFF), fakulty jaderné a fyzikálně inženýrské (FJFI) a fakulty strojní Českého vysokého učení technického (FSI), oblastního výpočtového centra (OVC) MŠK ČSR v Praze, Ústavu přístrojové techniky ČSAV v Brně a přírodovědecké fakulty UPJŠ v Košicích realizují v SÚJV v Dubně pod názvy JASNAPP a SPIN. V ČSSR je tato tematika společným výzkumným programem zúčastněných vysokoškolských pracovišť řešená v rámci dílčího úkolu státního plánu výzkumu.

## Program JASNAPP

Pod tímto názvem je ve Spojeném ústavu realizován rozsáhlý program studia atomového jádra s pomocí zařízení JASNAPP (jaderná spektroskopie na svazku protonů) v Laboratoři jaderných problémů (LJP) SÚJV. Zařízení JASNAPP je určeno ke studiu jader převážně neutronodeficitních, vzdálených od oblasti beta-stability, která jsou získávána v reakcích tzv. hlubokého štěpení protony urychlenými na energie řádově stovky MeV na synchrocyclotronu LJP SÚJV.

Úspěchy v rychlé chemické separaci mnoha radioaktivních prvků a dále úspěchy ve vývoji vysoce efektivních iontových zdrojů pro hmotovou separaci umožnily a umožňují v současné době provádět systematické studium vlastností krátkodobě žijících radioizotopů metodami alfa-, beta- a gama-spektroskopie. V této oblasti studia byla získána celá řada nových informací, objeveno okolo 100 nových radioaktivních izotopů [1–3].

Čs. pracovníci významně přispěli k vytváření současné experimentální techniky pro jadernou spektroskopii v LJP SÚJV, mimo jiné též k vytvoření unikátního spektrometru záření beta s dvojnásobnou dvojitou fokusací a s automatickým řízením procesu měření a kromě toho se zabývali některými aktuálními otázkami zpracování dat.

V mezinárodním kolektivu pracovníků SÚJV se čs. pracovníci podíleli na výzkumu

v oblasti jaderné spektroskopie neutronodeficitních izotopů jak deformovaných jader z oblasti vzácných zemin, tak jader přechodového charakteru deformace v oblasti Sm–Gd, a Ir–Pt, tak i na studiu sférických jader s  $N = 40 \div 50$  v oblasti izotopů Ni, Y, Sr, Rb a studiu radioaktivního rozpadu izotopů Ba.

Některé práce z této oblasti a významné objevy se staly částí souboru prací, za které byla v r. 1966 udělena cena SÚJV.

V současné době se čs. pracovníci z KU a ČVUT podílejí v rámci programu JASNAPP

- na systematickém studiu rozdílů hmot atomových jader,
- na studiu struktury atomových jader v oblasti  $Z = 36,37$  a  $N = 40 \div 50$ ,
- na systematickém studiu vlastností jader přechodové oblasti Eu – Gd – Tb.

Československými a sovětskými pracovníky z ČVUT, KU a SÚJV byla v současné době vyřešena otázka přenosu fyzikálních informací mezi SÚJV a spolupracujícími pracovišti v ČSSR s využitím magnetické pásky jako nositele informace; zároveň byl vytvořen jednotný systém zpracování fyzikálních výsledků získaných v experimentech v SÚJV na počítačích strojích jak v Dubně, tak v ČSSR. To umožňuje v současné době i v oblasti studia struktury jádra uskutečňovat „fyziku na dálku“, tj. fyzikové z ČSSR se mohou nyní ve svých domácích laboratořích efektivně podílet na zpracování a analýze experimentálních výsledků získaných na unikátních zařízeních SÚJV.

## Program SPIN

Pod tímto názvem je v SÚJV realizován široký program studia rozpadu orientovaných radioaktivních jader.

Studium rozpadu orientovaných jader je experimentálně velmi náročné. Systematicky se do nedávna provádělo jen v několika předních světových laboratořích a velkých fyzikálních ústavech, které měly v tomto směru dostatek zkušeností a nezbytnou experimentální základnu.

V Laboratoři jaderných problémů SÚJV byl v roce 1973 čs. pracovníky z MFF KU, FJFI a FSI ČVUT podán návrh experimentu [4], jehož cílem je systematické studium rozpadu krátkodobých radioaktivních jader orientovaných s využitím efektu hyperjemných interakcí při velmi nízkých teplotách ( $\sim 10$  mK). Pro tento experiment bylo navrženo unikátní zařízení s pracovním názvem SPIN [4, 5], na jehož realizaci se podílejí pracovníci Nukleárního centra MFF KU, několika kateder FJFI a FSI ČVUT, Obvodního výpočetního centra MŠK ČSR a některých dalších čs. pracovišť. Koncem roku 1975 byla v SÚJV uvedena do provozu první varianta zařízení SPIN, umožňující provádět systematické studium rozpadu orientovaných radioaktivních jader s poločasem rozpadu okolo jedné hodiny a větším. V budoucnu se předpokládá, že se uskuteční přímé spřažení zařízení SPIN se zařízením JASNAPP, čímž budou vytvořeny unikátní podmínky pro systematické studium orientovaných radioaktivních jader v široké oblasti atomových a hmotnostních čísel a poločasů rozpadu.

Pracovní teploty v oblasti 10 mK v stacionárním režimu se v zařízení SPIN dosahuje využitím metody chlazení tzv. rozpouštěním izotopů hélia [6, 7]. Jako základ pro kon-

strukci chladicího zařízení pro aparaturu SPIN bylo použito modifikace rozpouštěcí aparatury  ${}^3\text{He}-{}^4\text{He}$ , kterou poprvé úspěšně použili v LJP SÚJV v roce 1965. B. S. NĚGANOV se spolupracovníky [6]. Radioaktivní vzorek je v zařízení SPIN v bezprostředním kontaktu se supravodivým roztokem  ${}^3\text{He}$  v  ${}^4\text{He}$  v rozpouštěcí komoře. Charakteristickým rysem chladicího zařízení aparatury SPIN je možnost přímého vstupu do rozpouštěcí komory a možnost výměny radioaktivního vzorku v libovolném pracovním stadiu chladicího zařízení [5]. Doba nezbytná k ochlazení vzorku z pokojové teploty na 20 mK je na první variantě zařízení SPIN tři hodiny. Dosahovaná teplota vzorku v stacionárním režimu je 14 mK, v jednorázovém režimu 12 mK [8].

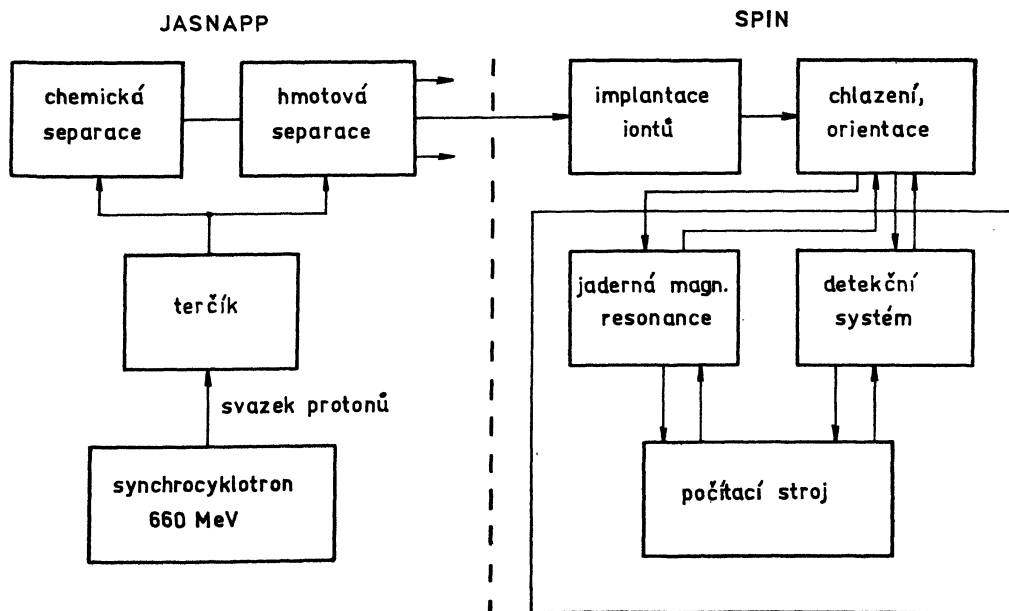
Magnetické hyperjemné interakce se dosahuje využitím existence vnitřních magnetických polí v některých látkách (Fe, Ni, Gd, Co apod.), dosahujících veličin  $10-10^3$  T a buzených relativně slabým vnějším magnetickým polem supravodivého solenoidu, jehož intenzita může dosahovat hodnot 2T a jehož směr udává směr orientace. Radioaktivní vzorky jsou zhotovovány implantací iontů do matic z feromagnetika na hmotovém separátoru zařízení JASNAPP a v případě nutnosti dále tepelně zpracovávány.

Teplota na vzorku se měří současným použitím některého z radioaktivních termometrů  ${}^{54}\text{Mn}(\text{Ni})$ ,  ${}^{57}\text{Co}(\text{Fe})$ .

Zařízení SPIN je v základní sestavě určeno pro tento výzkum:

- studium asymetrií úhlového rozložení a polarizace záření gama radioaktivních jader,
- studium úhlových korelací v kaskádách přechodů gama orientovaných jader.

Záření gama je detekováno ve směru  $0^\circ$ ,  $90^\circ$  a  $180^\circ$  ke směru vnějšího magnetického pole supravodivého solenoidu Ge(Li)-detektory a příslušného detekčního systému spojeného s malým počítačím strojem jako měřicí jednotkou.



Modifikacemi je možno zařízení SPIN upravit i pro studium úhlového rozložení jiných typů záření, pro detekci jaderné magnetické rezonance pomocí záření orientovaných jader (NMR/OJ) nebo pro Mössbauerovu spektroskopii na orientovaných jádrech (MS/OJ).

Blokové schéma základních částí zařízení SPIN a jejich spojení se zařízením JASNAPP je uvedeno na obrázku.

Spolupráce československých a sovětských odborníků na programu SPIN umožnila v krátké době vyvinout unikátní zařízení pro studium rozpadu orientovaných radioaktivních jader, které nemá zatím ve světové experimentální praxi obdoby.

### **Informace poskytované při studiu orientovaných radioaktivních jader na zařízení SPIN**

Základní informace o orientaci atomových jader můžeme získat ze studia úhlového rozložení a polarizace záření vznikajícího při rozpadu těchto jader [9, 10].

Geometrické vlastnosti procesu rozpadu orientovaných jader a s tím spojené vlastnosti symetrie mají bezprostřední vztah k různým zákonům zachování a k formě interakce způsobující daný rozpad.

Můžeme odlišit tři rozdílné druhy experimentů s orientovanými radioaktivními jádry:

- za prvé: využití známých vlastností orientovaných radioaktivních jader ke studiu různých mechanismů orientace a vlastností jejich interakce s prostředím;
- za druhé: při známém mechanismu orientace může studium rozpadu orientovaných jader poskytnout informace o vlastnostech energetických stavů jader a charakteru jaderného záření;
- za třetí: studium rozpadu orientovaných jader může poskytnout v některých případech údaje o formě interakce způsobující daný rozpad a o její symetrii.

Existuje tedy celá řada informací, které v závislosti na počátečních podmínkách experimentu mohou být získány studiem rozpadu orientovaných jader. Na zařízení SPIN může například studium úhlového rozložení a polarizace záření gama poskytnout důležité údaje:

- o charakteru záření gama (zjištění multipolarity, určení složení směsi záření s různými multipolaritami v daném přechodu);
- o charakteristikách energetických hladin atomových jader (stanovení spinů, parit, získání údajů o vlastnostech rozpadu energetických hladin daných jader do základního stavu, rozpadu stavů pouze s jedním přechodem a rozpadu izomerních stavů);
- o velikosti hyperjemného rozštěpení hladin jádra (v případě hyperjemné magnetické interakce lze z velikosti hyperjemného rozštěpení hladin  $\Delta = \mu H / Jk$  v závislosti na počátečních podmínkách určit magnetický dipólový moment  $\mu$  či spin jádra  $J$  nebo magnetické pole na jádře  $H$ );
- o vlastnostech slabé jaderné interakce (určení poměru maticových elementů různých typů interakcí vedoucích k přechodu beta, po kterém následuje studovaný přechod

gama, zejména stanovení poměru maticových elementů typu Fermiho a Gamova-Tellera, získání informací o jevech souvisejících s nezachováním parity);

– o reorientaci jádra rozpadem.

Určení asymetrie úhlového rozložení záření gama orientovaných jader umožňuje měření velmi nízkých teplot.

Experimentální výzkum na zařízení SPIN je v první etapě zaměřen na okruh problémů spadajících do první a druhé z výše uvedených kategorií. Systematicky jsou prováděna měření vnitřních magnetických polí na jádrech příměsí v maticích z feromagnetika, magnetických dipólových momentů základních stavů radioaktivních jader. Studium v oblasti atomového jádra je zaměřeno na systematické studium jader přechodové oblasti Sm – Gd. Byly provedeny úspěšné experimenty s radioaktivními orientovanými jádry  $^{152}\text{Tb}$  a  $^{156}\text{Tb}$  [8].

Vybudováním zařízení SPIN v SÚJV byla dána do rukou fyziků precizní experimentální technika, která – jak lze očekávat – najde široké uplatnění ve fyzikálních experimentech s orientovanými jádry.

Spolupráce čs. vysokoškolských pracovišť se SÚJV na tomto poli umožňuje dlouhodobé efektivní zapojení čs. pracovníků do práce na unikátních zařízeních SÚJV při řešení aktuálních problémů základního výzkumu na světové úrovni. Kromě přínosu výsledků takovéto spolupráce k dalšímu poznávání atomového jádra má tato spolupráce ve svých důsledcích pozitivní vliv i na úroveň výzkumu na vysokoškolských pracovištích v ČSSR.

## Literatura

- [1] GROMOV K. YA., DZHELEPOV B. S.: *Atomnaja energija*, 26 (1969) 362.
- [2] ARLT R. et al.: *EPAN V.* 5 No. 4 (1974) 843.
- [3] GROMOV K. YA. et al.: *EPAN V.* 6 No. 4 (1975) 971.
- [4] FINGER M., JANOUT Z., ŘÍKOVSKÁ J.: *Acta Polytechnica — Práce ČVUT v Praze, IV*, 3 (1974) 49–67.
- [5] NAVRÁTIL J., NĚGANOV B. S., OTA J., PAVLOV V. N., FINGER M., CUPKO-SITNIKOV V. M.: *Zpráva SÚJV B3-6-9223*, Dubna 1976.
- [6] LONDON H., CLARKE G. R., MENDOZA E.: *Phys. Rev.* 128 (1962) 1992.
- [7] NĚGANOV B. S., BORISOV N. S., LIBURG M. V., *ŽETF*, T50, Vyp. 6 (1966) 1445.
- [8] GROMOVA I. I. et al.: *Proceedings of International Conference on Selected Topics in Nuclear Structure*, Dubna 1976, Vol. 1 p. 75.
- [9] BLIN-STOYLE R. J. and GRACE M. A.: *Handbook of Physics*, Vol. 42 p. 555.
- [10] STEFFEN R. M. and ALDER R.: *The Electromagnetic Interactions in Physics*, Ed. W. D. HAMILTON (Amsterdam, North Holland) pp. 505–582.