

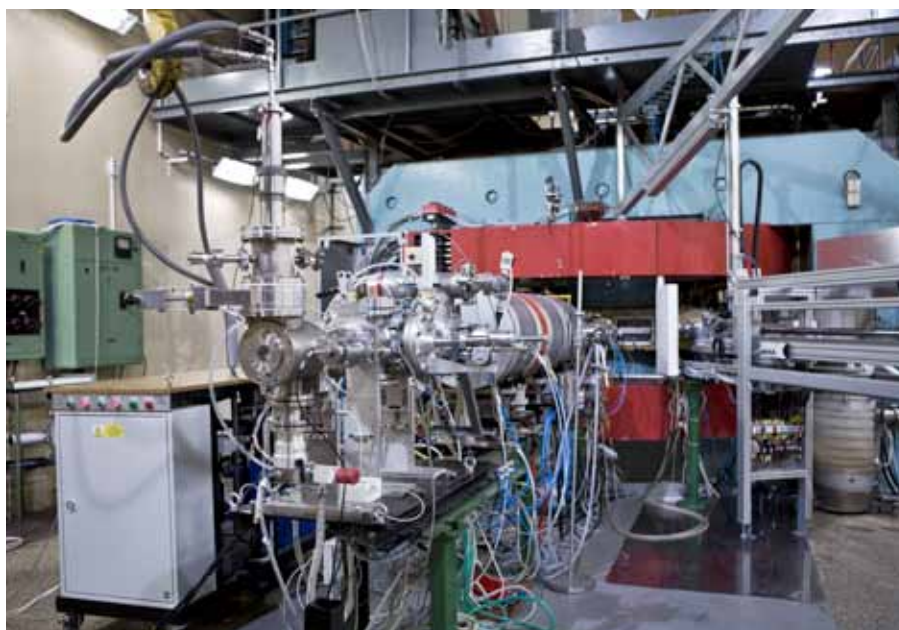
# Centrum urychlovačů a jaderných analytických metod (CANAM)

Ústav jaderné fyziky AV ČR, v. v. i.

Posláním velké infrastruktury CANAM je využití svazků energetických iontů a neutronů ve fyzice, chemii, biologii, energetice a dalších vědních oborech. CANAM propojuje velká experimentální zařízení Ústavu jaderné fyziky AV ČR, v. v. i., v Řeži (ÚJF): cyklotrony U-120M a TR-24, generátory rychlých neutronů (Laboratoř cyklotronů a rychlých neutronů), elektrostatický urychlovač Tandetron (Laboratoř urychlovače Tandetron) a zařízení instalovaná na neutronových ozařovacích kanálech výzkumného reaktoru LVR-15 (Laboratoř neutronové fyziky).



## a) Laboratoř cyklotronů a rychlých neutronů (LC&FNG)



Cyklotron U-120M s terčovou stanicí (Be terč) pro produkci rychlých neutronů

### Koordinátor LC

Ing. Jan Štursa

Tel.: +420 266 173 613

E-mail: stursa@ujf.cas.cz

### Koordinátor FNG

Ing. Jan Novák, Ph.D.

Tel.: +420 266 172 123

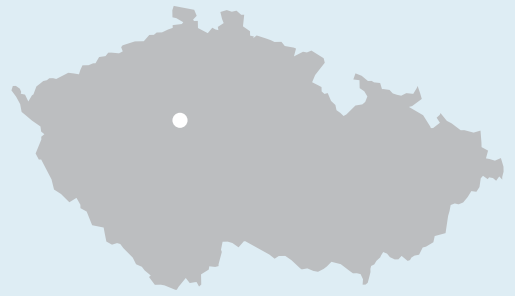
E-mail: novak@ujf.cas.cz

canam.ujf.cas.cz/lc.html

### Kompetence

V laboratoři jsou provozovány izochronní cyklotron U-120M a nově spuštěný cyklotron TR-24. U-120M poskytuje svazky urychlených iontů (p, d,  $3\text{He}+2$ ,  $4\text{He}+2$ ) s energiemi od 6 do 50 MeV – v závislosti na typu částice – a proudy od jednotek pA až do desítek  $\mu\text{A}$ . Ve spojení s terčovými stanicemi generátorů rychlých neutronů (FNG) je U-120M unikátním

intenzivním zdrojem rychlých neutronů. Díky širokému rozsahu energií a proudů využívají urychlené svazky domácí i zahraniční skupiny badatelů pro široký okruh experimentů základního i aplikovaného výzkumu. Jde zejména o astrofyzikální experimenty, měření excitačních funkcí a jaderných dat, ozařování biologických vzorků, testování radiačního poškození elektronických komponent, produkci fluorescenčních nanodiamantů,



kalibračních zdrojů a dále produkci konvenčních i nekonvenčních radionuklidů pro přípravu radiofarmak. Cyklotron TR-24 poskytuje protonové svazky s energiemi 18–24 MeV a externími proudy až 300  $\mu$ A. Ve spojení s vyvíjenými terčovými stanicemi bude využit zejména pro produkci intenzivních toků rychlých neutronů a dále pro produkci nových medicínských radionuklidů. V laboratoři se rovněž vyvíjejí a vyrábějí komponenty urychlovačové techniky, diagnostických prvků urychlených svazků, terčové technologie a systémů pro ozařování vzorků a materiálů. Pro automobilový průmysl se jeví jako velice perspektivní připravované využití svazku urychlených částic pro měření opotřebenosti součástí spalovacích motorů metodou TLA (Thin Layer Activation).

### Cílové skupiny

- Domácí a zahraniční vědecko-výzkumné ústavy a pracoviště, technologická centra
- Pracoviště nukleární medicíny
- Radiofarmaceutický průmysl
- Biomedicínské inženýrství
- Výrobci elektronických komponent
- Firmy a instituce podílející se na kosmickém a termojaderném výzkumu

### Naše služby

- Ozařovací služby včetně studie proveditelnosti a návrhu experimentů
- Návrhy terčových systémů a terčových držáků pro ozařování vzorků a materiálů
- Výpočty a návrhy vakuových systémů a aparatur

- Výpočty a návrhy ionto-optických soustav pro transport urychlených svazků
- Výpočty a simulace pohybu nabitých částic v kombinovaných elektrických (včetně časově proměnných) a magnetických polích
- Diagnostika a měření urychlených svazků nabitých částic a rychlých neutronů
- Produkce fluorescenčních nanodiamantů
- Ozařování biologických vzorků
- Testování radiační odolnosti
- Produkce komerčních i nekomerčních radionuklidů pro přípravu radiofarmak



Ionto-optická trasa cyklotronu TR-24

### Výsledky a reference

- Astrofyzikální experimenty – Oddělení jaderných reakcí ÚJF AV ČR, v. v. i.
- Studium a měření excitačních funkcí a účinných průřezů jaderných reakcí – ITU Karlsruhe, Německo, TU Drážďany, Německo
- Produkce fluorescenčních nanodiamantů – Ústav organické chemie a biochemie AV ČR, v. v. i.,

FBMI ČVUT, Mikrobiologický ústav AV ČR, v. v. i., Generi Bio SME ČR, Interuniversitair Micro-Electronica Centrum vzw, Belgie, University of Stuttgart, Německo, School of Medical Science, Griffith University, Austrálie

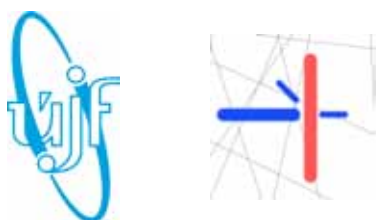
- Příprava zeolitových a implantovaných kalibračních zdrojů  $^{83}\text{Rb}/^{83\text{m}}\text{Kr}$  – projekt KATRIN a XENON, Karlsruhe Institute of Technology, Německo, University of Bonn, Německo
- Ozařování biologických vzorků – Oddělení dozimetrie záření ÚJF AV ČR, v. v. i.
- Testy radiační odolnosti

elektronických komponent – projekt ALICE, CERN, Oddělení jaderné spektroskopie ÚJF AV ČR

- Příprava lékařských radionuklidů pro výzkum – RadioMedic s.r.o., ÚJV Řež, a. s., Ústav molekulární genetiky AV ČR, v. v. i., Envinet a. s., Advanced Cyclotron Systems Inc., European Pharmacopoeia Committee
- Komerční produkce radionuklidů pro přípravu radiofarmak – RadioMedic s.r.o.

# Centrum urychlovačů a jaderných analytických metod (CANAM)

Ústav jaderné fyziky AV ČR, v. v. i.



## b) Laboratoř urychlovače Tandetron (LT)

### Koordinátor LT

RNDr. Anna Macková, Ph.D.

Tel.: +420 266 172 102

E-mail: mackova@ujf.cas.cz

[canam.ujf.cas.cz/lt.html](http://canam.ujf.cas.cz/lt.html)

Svazky energetických iontů se využívají k modifikaci povrchových vrstev pevných látek a pro analýzu jejich složení a struktury. Iontové analytické metody (Ion Beam Analysis – IBA) mají řadu unikátních vlastností, pro které nemohou být nahrazeny jinými alternativními postupy při kvalitativní a kvantitativní analýze materiálů. V laboratoři jaderných analytických metod se pro tyto účely využívá elektrostatický urychlovač Tandetron 4130 MC. Urychlovač poskytuje svazky iontů od vodíku po zlato s iontovými toky do jednotek mA a energiemi od stovek keV do desítek MeV. Urychlovač je



Laboratoř Tandetronu – pohled na iontové trasy s koncovými terčovými komorami pro iontové analytické metody

jediný svého druhu v ČR a umožňuje podstatným způsobem rozšířit analytické možnosti, zavést nové způsoby modifikace látek a syntézy nových materiálů a struktur. Široce pojatý interdisciplinární výzkum se provádí v těsné spolupráci se specializovanými pracovišti v ČR a v zahraničí.

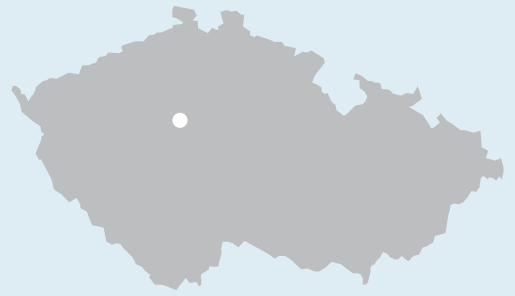
### Kompetence

Výzkumná činnost je zaměřena zejména na sledování procesů vytváření tenkých vrstev a vrstevnatých struktur s význačnými mechanickými, elektrickými, magnetickými, optickými, chemickými a biologickými vlastnostmi a na studium fyzikálních a chemických procesů, které v těchto strukturách probíhají při průchodu energetických nabi-

tých částic. V laboratoři se metodicky rozvíjí široké spektrum jaderných analytických metod a jejich využití v interdisciplinárních a aplikačních oblastech. K dispozici jsou aparatury pro analýzy metodou protonové fluorescenční analýzy (PIXE), pružným rozptylem nabitých částic (RBS, RBS channeling, ERDA, ToF ERDA) a různými jadernými reakcemi (PIGE, NRA). Dále je k dispozici vybavení pro iontovou implantaci vzorků do 8 cm průměru, fluence až  $10^{16}$  iontů na  $\text{cm}^2$  (možné chlazení kapalným dusíkem, případně ohřev substrátu do 800 °C), externí svazek pro ozařování vzorků, které nelze umístit do vakua, a mikrosvazek umožňující fokusaci iontů do velikosti méně než 1  $\mu\text{m}$ .

- Iontová implantace – mikro- a nanostrukturované materiály pro





Multifunkční analytická vakuová komora umožňující současné měření rentgenové fluorescence a zpětně odražených iontů

- mikroelektroniku
- optiku
- laserové technologie, fotoniku
- spintroniku
- biomedicínu
- Použití energetických iontů při studiu aerosolů v ovzduší
- Charakterizace objemových a vrstevnatých materiálů s význačnými mechanickými aplikacemi
- Charakterizace materiálů pro jaderné technologie
- Studium prvkového složení archeologických artefaktů
- Experimenty studia fundamentálních procesů při interakci energetických iontů s pevnou látkou
- Externí svazek pro předdefinované rovnoměrné ozáření vzorku na vzduchu tak, aby byl vzorek modifikován požadovanou dávkou iontů – aplikace pro ozařování např. živých tkání pro dozimetrické studie
- Progresivní metoda přípravy optických nanostruktur metodou obrábění iontovým svazkem
- Simulace průchodu iontů materiálem, vzniku defektů, strukturálních a kompozičních změn při syntéze struktur iontovými svazky
- Depozice vrstev metodami magnetronového napařování, napařování a depozice s využitím iontových svazků

### Cílové skupiny

- Průmyslový vývoj zabývající se přípravou vrstevnatých struktur s význačnými mechanickými, optickými nebo optoelektronickými vlastnostmi

- Charakterizace prvkového složení a modifikace krystalických materiálů pro polovodičový průmysl
- Charakterizace materiálů pro jadernou energetiku – průmyslový vývoj technologií pro jaderné reaktory a fúzní reaktory
- Příprava nanostruktur a dopování materiálů iontovou implantací pro polovodičový průmysl, průmyslový výzkum a vývoj v mikroelektronice a optice

### Výsledky a reference

- Kontrola kvality a procesu výroby svitkových kondenzátorů, analýzy kondenzátorových fólií, studium homogenity a stechiometrie kovové vrstvy a obsahu stopových prvků – HYDRA a. s.
- Složení krystalických materiálů, obsah a hloubkový profil lehkých prvků stanovených metodou ERDA, případně analýza stopových prvků metodou RBS, polohování dopantů metodou RBS channeling v krystalech – OnSemi Conductors a.s.
- Charakterizace multivrstevnatých systémů mechanicky odolných a ořezodolných vrstev připravovaných v plazmatických reaktorech – HVM spol. s r. o., SHM spol. s r. o. Šumperk
- Chemické složení zirkoniových vrstev pro technologii obalového materiálu jaderného paliva – ÚJP Praha a. s.
- Studium hloubkových profilů těžkých prvků I, U atd. pro charakterizaci difuze štěpných produktů v granitických horninách Českého masivu – ÚJV Řež, a. s.

# Centrum urychlovačů a jaderných analytických metod (CANAM)

Ústav jaderné fyziky AV ČR, v. v. i.



## c) Laboratoř neutronové fyziky (NPL)

### Koordinátor NPL

RNDr. Pavel Strunz, CSc.

Tel.: +420 266 173 553

E-mail: strunz@ujf.cas.cz

canam.ujf.cas.cz/npl

### Kompetence

Laboratoř neutronové fyziky byla v rámci ÚJF založena za účelem experimentů neutronové fyziky pro výzkumné projekty ÚJF, ale i pro poskytování měřicího času na neutronových svazcích a zkušeností jejich expertů externím uživatelům. Neutronové kanály u výzkumného reaktoru LVR-15 (provozovatel Centrum výzkumu Řež, s.r.o.) se využívají jak k materiálovému výzkumu za pomoci neutronové difrakce, tak pro neutronovou aktivační analýzu. Analýzy s pomocí neutronů se provádějí na celkem osmi zařízeních a jsou v zásadě rozděleny do tří okruhů:

- Difrakce neutronů se využívá pro studium struktury a mikrostruktury materiálů (např. pokročilých kovů a keramik, ale i archeologických



Neutronový difraktometr SPN-100 pro skenování napětí v materiálech a analytické metody pro neutronové hloubkové profilování (vlevo) a promptní gama aktivační analýza (vpravo) na neutronových svazcích u výzkumného reaktoru

artefaktů) v rozličných velikostech, počínaje uspořádáním atomů v krystalové mřížce až po mikroskopické heterogenity na nano- a mikroškále. Vysoká prostupnost neutronů většinou materiálů umožňuje provádět tyto testy nedestruktivním způsobem ve velkém objemu materiálů nebo i tzv. in situ za různých vnějších podmínek (mechanické namáhání, vysoká teplota).

- Jaderných reakcí neutronů s hmotou se využívá k analýze koncentrací či koncentračních profilů prvků v látkách.
- Pokročilé neutronové a fotonové aktivační metody se používají v multidisciplinárním výzkumu, jmenovitě v environmentálních, biomedicínských, geo- a kosmochemických oborech.

### Cílové skupiny

- Cílovou skupinou pro služby nabízené laboratoří jsou průmyslové podniky, technologická centra, vysoké školy a výzkumné instituce na národní a mezinárodní úrovni, ale i státní správa.
- V oblasti charakterizace materiálů mohou být uživateli firmy zabývající se výrobou komponent, u kterých dochází k namáhání materiálu při termomechanickém zpracování či při provozu. Jde zejména o firmy z oblasti transportu (např. analýza napětí v okolí svárů), z energetického průmyslu (např. mikrostruktura materiálů v součástech turbin) či firmy zabývající se výrobou medicínských komponent (např. kloubní náhrady).
- Analytické techniky mohou využívat např. medicínské firmy,



- podniky zaměřené na životní prostředí, ale i potravinářské firmy. Expertní analýzy je možno vypracovávat i pro státní správu.
- V neposlední řadě mohou zařízení laboratoře využít výzkumné instituce na národní či mezinárodní úrovni zaměřené na materiálové vědy, geologii, optiku, optoelektroniku a spintroniku, na organickou a anorganickou chemii či medicínu a biologii. Zařízení a znalostí našich expertů mohou využít specializované výzkumné instituce např. i při budování nových vědecko-výzkumných kapacit.

## Naše služby

- Pět zařízení neutronového rozptylu (SPN-100 – zařízení pro skenování vnitřních napětí v materiálech, MEREDIT – práškový difraktometr, NOD – difraktometr pro testování neutronové optiky, MAUD – maloúhlový difraktometr, TKS-400 – difraktometr s vysokým rozlišením) lze využívat pro tyto druhy odborných analýz:
- Určování krystalografické struktury a fázová analýza
- Určování magnetické struktury
- Vývoj krystalografické či magnetické struktury při externím vlivu teploty či tlaku (in situ)
- Určování reziduálních napětí v kovech a keramikách, např. v okolí svárů, ve strojírenských komponentách po tepelném a mechanickém zpracování, ve funkčně gradovaných keramikách; v některých případech může být charakterizace prováděna zcela nedestruktivním způsobem

- Výzkum mikronapětí a deformačních mechanismů v polykrystalech při mechanickém a tepelném namáhání
- Charakterizace (ev. nedestruktivní) mikrostruktury precipitátů a pórů v kovech (např. vysokoteplotní slitiny), keramikách (termální bariéry, superplastické keramiky) a sklech (např. zirkoniových)
- Mikrostruktura polymerů na větších rozměrových škálách
- Testování neutrono-optických komponent (neutronové monochromátory a analyzátoři)

Další tři zařízení neutronové fyziky (T-NDP – neutronové hloubkové profilování, NG – promptní gama aktivní analýza, NAA – neutronová aktivní analýza) spolu s X-Ray fluorescenční spektrometrií (XRF) – mohou být využita k následujícím analytickým účelům:

- Nedestruktivní měření koncentrace některých lehkých izotopů ( $^3\text{He}$ ,  $^6\text{Li}$ ,  $^7\text{Be}$ ,  $^{10}\text{B}$ ,  $^{14}\text{N}$  atd.) v závislosti na hloubce v oblastech u povrchu pevných látek (do desítek  $\mu\text{m}$  s rozlišením  $\approx 10\text{ nm}$ ). Může být využito 1D nebo 2D mód měření
- Přesné určování koncentrace izotopů/prvků (B, Cd, Sm, Gd, H, Cl atd.) optimalizované pro tekuté či práškové vzorky
- Monitorování životního prostředí – analýza aerosolů, půdy, splaškových kalů, biomonitorů
- Geo- a kosmochemie: prvková charakterizace hornin, minerálů, tektitů, meteoritů
- Geomykologie: prvková charakterizace hub a jejich substrátů
- Nutriční věda: určování základních

- a toxických stopových prvků v potravinách a nápojích
- Biomedicína: určování základních a toxických stopových prvků v lidských a zvířecích tkáních
- Materiálová věda: prvková charakterizace rozličných materiálů, např. slitin či high-tech materiálů, které lze obtížně charakterizovat jinými analytickými metodami
- Chemometrie: analýzy pro kontrolu přesnosti jiných analytických technik, testování homogenity a certifikační analýzy nově připravovaných referenčních materiálů
- Archeologie: analýza kovových a skleněných artefaktů
- Analýzy v návaznosti na "The Restriction of the use of certain Hazardous Substances in electrical and electronic equipment – RoHS (Directive 2002/95/EC)"

## Kontakt

Ústav jaderné fyziky AV ČR, v. v. i.

Hlavní 130, 250 68 Husinec-Řež

Ing. Jan Dobeš, CSc. –  
koordinátor projektu CANAM

Tel.: +420 266 173 271

Fax: +420 220 941 130

### On-line:

Webové stránky projektu:  
<http://canam.ujf.cas.cz>

Vstup pro uživatele:  
<https://users.canam.ujf.cas.cz>

E-mail: [useroffice@ujf.cas.cz](mailto:useroffice@ujf.cas.cz)