Študenti magisterského štúdia

3.ročník

G.Baláž, M.Jurčovičová, M.Kaliský, Ž.Kantová, S.Kapusta, V.Malý, J.Šuppa, R.Tokárová

4.ročník

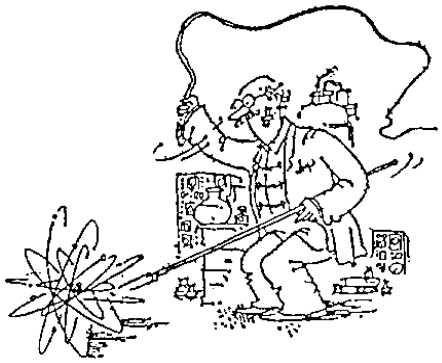
L.Barteková, P.Bednář, R.Kelemen, F.Knapp, M.Martišíková, J.Merešová, J.Mráz, D.Ondo, Z.Palajová, Z.Ruriková, V.Szabo, B.Streicher, J.Šutiak

5.ročník

I.Brida, C.Hendrichovský, M.Kováč, L.Luthová, J.Martinkovič, M.Mocko, A.Moravčík, A.Ridziková, R.Horváth

Absolventi v šk. r. 1999/2000

S.Antalic, F.Boháková, M.Grajcar, J.Chovan, M.Kreps, F.Ženiš



Fakulta matematiky fyziky a informatiky Univerzity Komenského v Bratislave

# ZAMERANIE

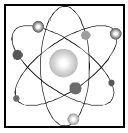
# JADROVÁ A SUBJADROVÁ FYZIKA

2001

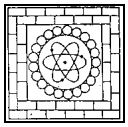
**Úvod**

Informácia, ktorú Vám predkladáme má za cieľ oboznámiť Vás bližšie so zameraním a možnosťami užších špecializácií v rámci magisterského štúdia na zameraní jadrová a subjadrová fyzika. Chceme Vám tiež poskytnúť obraz o orientácii výskumu, perspektívach štúdia a možnosti ďalšieho uplatnenia po jeho absolvovaní. Súčasné moderné experimenty v oblasti jadrovej fyziky si vyžadujú náročné a tým aj drahé zariadenia. Preto sa rozsiahlejšie experimenty realizujú v spolupráci viacerých pracovísk, alebo sa vykonávajú v spoločných medzinárodných inštitúciách, ako je napr. CERN, SÚJV a pod. Experimentálne zariadenia v takýchto experimetoch nevyhnutne spolupracujú s počítačom, poprípade s počítačovou sieťou. Okrem zvládnutia problematiky spojenej so samotnou fyzikálnou podstatou skúmaných dejov musí dnešný fyzik v týchto experimentoch dobre ovládať matematické metódy štatistického spracovania dát a tiež vedieť maximálne efektívne využiť možnosti poskytované výpočtovou technikou. V súlade s týmto trendom sme rozšírili výuku v oblasti hardwaru a softwaru tak, aby naši absolventi dobre obstáli v zahraničnej konkurencii. V rámci zamerania jadrová a subjadrová fyzika je preto zaradených v 3. až 5. ročníku viacero predmetov z počítačovej fyziky. Na KJF je oddelenie počítačovej a kladie sa maximálny dôraz na perfektné znalosti v oblasti práce s počítačmi a v prostredí počítačových sietí. Študenti tak získavajú prehľad o numerických metódach, spôsoboch zberu dát a spôsoboch sieťovej komunikácie medzi počítačom a prostredím. Tradičné smery zamerania jadrová a subjadrová fyzika sú orientované na problémy v teoretickej a experimentálnej jadrovej a subjadrovej fyzike a tiež na využitie jadrových metód v životnom prostredí, s aplikáciami na nukleárnu medicínu a jadrovú energetiku.

***Užšia špecializácia v rámci zamerania jadrová a subjadrová fyzika***



*jadrová a subjadrová fyzika*



*aplikovaná a environmentálna fyzika*

*počítačová fyzika*

**Údaje o Katedre jadrovej fyziky**


| | |
|---|---|
| *Vedúci katedry* | Doc. RNDr. N. Pišútová, CSc. |
| *Sekretariát* | F1-376, tel.:65423446 |
| | e-mail: kjf@fmph.uniba.sk |
| | URL: http://www.dnp.fmph.uniba.sk |


***Katedra má tri oddelenia:***

*Oddelenie jadrovej a subjadrovej fyziky*

Prof.RNDr.Š.Šáro,DrSc. (vedúci oddelenia), Mgr.J.Braciník, Ing.A.Duka-Zólyomi (t.č. NR SR), Doc.RNDr.M.Florek,CSc, RNDr.V.Hlinka, RNDr.P.Pavlovič, Ing.M.Piňák,PhD. (NIRS, Chiba, Japonsko), Prof.RNDr.P.Povinec,DrSc. (t.č. IAEA Monaco), Prof.RNDr.J.Ružička,DrSc., Doc.RNDr.J.Staníček,CSc., RNDr.I.Sýkora,PhD., Doc.RNDr.J.Vanko,CSc.

*Oddelenie environmentálnej fyziky*

Doc.RNDr.K.Holý,CSc. (vedúci oddelenia), RNDr.L.Ďurana, Doc.RNDr.M.Chudý,CSc., RNDr.M.Richtáriková, RNDr.A.Šivo, RNDr.P.Vojtyla, CSc. (t.č. CERN, Ženeva),

*Oddelenie počítačovej fyziky*

Doc.Ing.D.Kollár,CSc. (vedúci oddelenia), RNDr.P.Chochula,PhD (t.č. CERN, Ženeva), RNDr.P.Kubinec,CSc, Prof.RNDr.J.Masarik,DrSc, Doc.RNDr.N.Pišútová,CSc, RNDr.J.Szarka,CSc. (t.č. INSYS), RNDr.F.Šimkovic,CSc, P.Šťavina,PhD., RNDr.S.Tokár,CSc.

Na katedre pracuje 5 technických pracovníkov.

***Študenti doktorandského štúdia***

Mgr.P.Domin, Mgr.D.Kollár, Mgr.M.Matoš, Mgr.P.Cagarda, Mgr.J.Leja, Mgr.I.Bosá, Mgr.M.Čiliak, Mgr.I.Fedorko, Mgr.M.Šmotlák, Mgr.S.Antalic, Mgr.G.Berek, Mgr.J.Chovan, Mgr.T.Ženiš

*externisti*

RNDr.J.Zeman (Slovenský metrologický ústav), RNDr.E.Cabáneková, RNDr.M.Vičanová, RNDr.P.Ragan, Ing.I.Gomola (všetci Ústav preventívnej a klinickej medicíny), Mgr.M.Futas (Národný ústav hygieny a epidemiológie Bratislava), Mgr.G.Palacková (Stavebná fakulta STU), RNDr.E.Puskeiler (VŠP Nitra), Mgr.M.Hojsík, RNDr.I.Špakula (Výskumný ústav jadrových elektrární Trnava, a.s.), Mgr.T.Rapant , (EBO Jaslovské Bohunice), RNDr.F.Ďurec (Štátny zdravotný ústav B.Bystrica) , RNDr.Š.Húšťava (STV Trnava)

| | |
|---|---|
| Farmaceutická fakulta,<br>Univerzita Komenského, Bratislava | miesto v oblasti kontroly<br>rádiofarmák |
| Úrad jadrového dozoru, Bratislava | miesto v oblasti monitorovacích systémov rádioaktivity územia |

*Prehľad zahraničných inštitúcií v ktorých boli naši študenti na študijných pobytoch posledných troch rokoch*

Európske centrum jadrového výskumu CERN Ženeva, Švajčiarsko
Federálny inštitút pre environmentálne technológie, Zürich, Švajčiarsko
Ústav pre výskum ťažkých iónov GSI Darmstadt, Nemecko
Spojený ústav jadrového výskumu SÚJV Dubna, Rusko
Univerzita v Helsinkách, Fínsko
Technická Univerzita Drážďany, Nemecko
Univerzita v Linkopingu, Švédsko
Univerzita Tokyo, Japonsko

## Zameranie vedecko-výskumnej činnosti na Katedre jadrovej fyziky

Na Katedre jadrovej fyziky sa realizuje vedecko-výskumná činnosť v troch hlavných smeroch: v jadrovej a subjadrovej fyzike, v environmentálnej fyzike a v počítačovej fyzike.

Jednou z oblastí štúdia jadrovej a subjadrovej fyziky sú interakcie relativistických ťažkých iónov s ťažkými jadrami a s tým spojený možný prechod normálnej jadrovej hmoty do novej fázy tvorenej kvark-gluónovou plazmou. Ďalším smerom je syntéza a štúdium vlastností ťažkých a superťažkých atómových jadier, včítane vytvorenia nových izotopov a nových chemických prvkov. Kvalitné prístrojové vybavenie umožňuje aj výskum zriedkavých jadrových premien a procesov, ktorých intenzita je aj o niekoľko rádov menšia, než je úroveň rádioaktivity prírodného pozadia. Vo všetkých oblastiach výskumu KJF aktívne spolupracuje so zahraničnými pracoviskami.

Environmentálna jadrová fyzika má najdlhšiu tradíciu na KJF. Orientuje sa na niekoľko základných problematík. Je to predovšetkým sledovanie koncentrácie rádionuklidov v prostredí a to už na stopovej úrovni. Ďalšou oblasťou je využitie rádionuklidových metód na určovanie veku geologických a archeologických objektov, na určovanie smeru a rýchlosti prúdenia podzemných vôd a pod. Vzhľadom na potrebu merania extrémne nízkych rádioaktivít, pre ktoré sú štandardné meracie systémy nevyhovujúce, vyvíjame špeciálne detektory a nízkopozaďové aktívne aj pasívne tieniace systémy umiestnené v špeciálnom nízkopozaďovom laboratóriu. Katedra v tomto zameraní patrí medzi významné svetové pracoviská a má rozsiahle kontakty s domácimi a zahraničnými pracoviskami, o.i. s Medzinárodnou agentúrou pre atómovú energiu so sídlom vo Viedni.

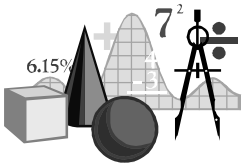
Najmladším, ale najdynamickejšie sa rozvíjajúcim odborným zameraním na KJF je počítačová fyzika. Počítač je dnes samozrejme základným nástrojom pri navrhovaní a optimalizácii experimentu, pri teste teoretického modelu, pri vývoji detektora i analýze jeho fyzikálneho výstupu. V tejto oblasti sa pracovníci katedry podieľajú na riešení celého radu problémov, väčšinou v rámci medzinárodných kolaborácií. Zúčastňujú sa na vytváraní programov pre modelovanie experimentov v oblasti fyziky elementárnych častíc a relativistickej jadrovej fyziky. Cieľom tohoto modelovania je preskúmať experimentálne možnosti štúdia rôznych aspektov časticových a časticovo-jadrových procesov. Podieľajú sa na tvorbe programov pre časovo priestorovú analýzu a rekonštrukciu experimentálnych dát z reálnych fyzikálnych experimentov, ako aj na ich bezprostrednej aplikácii pri vyhodnocovaní nameraných experimentálnych údajov a ich teoretickej interpretácii. Veľa priestoru sa venuje analýze odozvy detektorov na skúmaný fyzikálny proces. S týmto problémom úzko súvisí optimalizácia parametrov detektora počítačovou simuláciou. Ďalej je to modelovanie produkcie kozmogénnych rádionuklidov a interakcie kozmického žiarenia s látkou, zamerané na riešenie fundamentálnych otázok kozmickej fyziky ako sú zdroje kozmického žiarenia, supernovy atď.

## Zameranie štúdia

Katedra gestoruje magisterské štúdium odboru fyzika v zameraní jadrová a subjadrová fyzika a podieľa sa na bakalárskom a doktorandskom štúdiu v odbore fyzika. Magisterské štúdium zamerania jadrová a subjadrová fyzika začína tretím ročníkom. Študenti si vyberajú dva až štyri z alternatívnych predmetov v každom semestri. Povinné predmety vytvárajú ucelený kurz základov jadrovej a subjadrovej fyziky.

### *Povinné predmety zamerania*

*Teoretický kurz*




- Jadrová a subjadrová fyzika 1-3
- Jadrové reakcie
- Teoretická jadrová a subjadrová fyzika
- Seminár z moderných trendov jadrovej fyziky

*Experimentálny kurz*

- Experimentálne metódy jadrovej fyziky
- Elektronika a automatizácia
- Základy dozimetrie
- Aplikovaná jadrová fyzika
- Praktikum z jadrovej fyziky a elektroniky
- Praktikum z jadrovej fyziky
- Praktikum z jadrovej spektrometrie
- Výberové praktikum

*Kurz počítačovej fyziky*

- Základy technického a programového vybavenia
- Numerické metódy
- Fyzikálny software
- Počítačové siete

- Diplomový seminár

Užšia špecializácia v rámci zamerania jadrová a subjadrová fyzika t.j.

*-jadrová a subjadrová fyzika*

*-aplikovaná a environmentálna fyzika*

*-počítačová fyzika*

sa realizuje voľbou alternatívnych predmetov v treťom až piatom ročníku.

Výsledkom tejto spolupráce je okrem iného účasť na objave 110., 111. a 112. prvku v GSI Darmstadt a na objavení 114. Prvku v SÚJV Dubna, oficiálne členstvo v experimentoch ATLAS a ALICE v CERNe, účasť v projekte Európskej kozmickej agentúry ROSETTA, výskumné kontrakty s IAEA Viedeň, medzinárodné projekty (PECO, Ost-West projekt s HEPHY Viedeň) i viacero výsledkov publikovaných v roku 2000 vo viac ako 40 spoločných publikáciách.

## Uplatnenie absolventov zamerania jadrová a subjadrová fyzika

Absolventi odborného štúdia fyziky so zameraním na jadrovú a subjadrovú fyziku sa uplatňujú predovšetkým v základnom jadrovo-fyzikálnom výskume. Po skončení vysokoškolského štúdia môžu pokračovať v doktorandskom štúdiu na našej fakulte alebo inde. Reálne sú možnosti získania titulu PhD aj v zahraničí. Po doktorandskom štúdiu sú možnosti získať pracovné post-doktorandské pobyty v rôznych svetových jadrovo-fyzikálnych inštitútoch. Možnosti získať trvalé zamestnanie sú aj na samotných vysokých školách a v ústavoch SAV. Rozsiahle a konkrétne sú možnosti uplatnenia našich absolventov v organizáciách a ústavoch zaoberajúcich sa metrológiou ionizujúceho žiarenia, radiačnou hygienou, monitorovaním životného prostredia, dozimetriou ionizujúceho žiarenia, aplikáciami rádionuklidov a zväzkov v medicíne a pod. Ponuky pracovných miest v týchto oblastiach prevyšujú v posledných rokoch počet vychovaných špecialistov. Trvalé pracovné miesta možno získať aj v ďalších oblastiach vedy, techniky a širšie chápanej praxe, lebo naši absolventi sú kvalifikovanými špecialistami nielen v jadrovo-fyzikálnych disciplínach, ale aj v experimentálnej technike, modernej analógovej a digitálnej elektronike a tvorivo ovládajú veľmi rozsiahly analytický software.

*Prehľad miest v SR, na ktoré naši absolventi nastúpili v rokoch 1995-2000*

| | |
|---|---|
| Matematicko-fyzikálna fakulta, Univerzita Komenského, Bratislava | miesto odborného asistenta, doktorandské štúdium |
| Slovenské energetické podniky GR, Bratislava | miesto v odbore jadrového paliva |
| Merit, s.r.o., Trnava | miesto v oblasti modelovania v radiačnej ochrane |
| Špecializovaný ústav hygieny a epidemiológie Banská Bystrica | miesto v oblasti ochrany zdravia pred žiarením |
| Ústav klinickej onkológie Bratislava | miesto v oblasti rádioterapie |
| Fyzikálny ústav SAV, Bratislava | interná ašpirantúra |
| Nemocnica s poliklinikou Prešov | miesto v oblasti nukleárnej medicíny |
| Ústav experimentálnej fyziky SAV, Košice | interná ašpirantúra |
| Národný ústav hygieny a epidemiológie Bratislava | miesto v oblasti ochrany zdravia pred žiarením |

### *Spolupráca katedry so zahraničnými vedeckými ústavmi.*

Ako už bolo spomenuté v úvode moderné experimenty z oblasti jadrovej fyziky sú veľmi zložité a tým aj nákladné. Ich financovanie môžu zabezpečiť len veľké krajiny alebo spoločné vedecké pracoviská viacerých krajín. Pracovníci katedry, ale aj študenti vyšších ročníkov magisterského štúdia a doktorandi majú možnosť sa zúčastnovať na veľkých a zložitých experimentoch v zahraničných vedeckých centrách počas krátkodobých alebo aj dlhodobých pobytov. Často potom na katedre pokračujú v spracovávaní výsledkov meraní alebo pripravujú ďalšie experimenty. Ako príklad takejto spolupráce možno spomenúť účasť predovšetkým mladých pracovníkov katedry pri simulácii interakcií kozmického žiarenia s látkovým prostredím v Los Alamos National Laboratory, pri modelovaní vplyvu radiácie na biologicky významné makromolekuly v National Institute of Radiological Science v Chibe (Japonsko), pri rozpracovaní mnohonukleónových jadrových teórií na univerzite v Tübingene, pri výskume jadrových reakcií v SÚJV Dubna, GSI Darmstadt a pod. Okrem toho sa katedra v súčasnosti zapája do vedeckej spolupráce pri simulácii procesov v kremíkových detektoroch a pri vyhľadávaní dráh nabitých častíc a sekundárnych vertexov v detektoroch na experimente DELPHI, ktorý prebieha na urýchlovači LEP v CERNe a na vývoji hadrónového kalorimetra experimentu ATLAS pre budúce tisícročie na urýchlovači LHC budovaného v CENE. V environmentálnej fyzike spolupracuje s IAEA vo Viedni najmä pri sledovaní koncentrácie $^{7}Be$, $^{14}C$, $^{85}Kr$ a $^{222}Rn$ v atmosfére. Kvôli prehľadnosti uvádzame zoznam zahraničných inštitúcii s ktorými má katedra živé pracovné kontakty, resp. v ktorých sú momentálne na pracovných pobytoch naši pracovníci alebo doktorandi zamerania jadrová a subjadrová fyzika.

Európske centrum jadrového výskumu CERN Ženeva, Švajčiarsko
Los Alamos National Laboratory (LANL), NM, USA
Univerzita v Berkeley, California, USA
Ústav pre výskum ťažkých iónov GSI Darmstadt, Nemecko
Fermi National Accelerator Laboratory (FNAL), Batavia, IL, USA
Národný inštitút pre jadrovú fyziku INFN Pisa, Taliansko
Medzinárodná agentúra pre atómovú energiu IAEA, Viedeň, Rakúsko
Ústav fyziky vysokých energií HEPHY, Viedeň, Rakúsko
Spojený ústav jadrového výskumu (SÚJV) Dubna, Rusko
Ústav jadrovej fyziky ČAV Praha, Česko
Federálny inštitút pre environmentálne technológie, Zürich, Švajčiarsko
Inštitút pre atmosferickú rádioaktivitu, Freiburg, Nemecko
Národný inštitút rádiologického výskumu Chiba, Japonsko
Inštitút Maxa Plancka pre Chémiu, Mainz, Nemecko
Laboratórium morskej rádioekológie IAEA, Monaco
Univerzita v Heidelbergu, Nemecko
Univerzita v Berne, Švajčiarsko
Technická univerzita Drážďany, Nemecko
Univerzita v Tübingene, Nemecko
Univerzita v Helsinkách, Fínsko
Univerzita Tokyo, Japonsko
Nukleárne centrum UK Praha, Česko

Tvorivý charakter týchto vzťahov dokresľuje skutočnosť, že v čase uzávierky tohoto materiálu (v januári t.r.) bolo 11 našich pracovníkov, doktorandov a študentov na krátkodobom alebo dlhodobom pobyte na niektorom z týchto pracovísk.

*Alternatívne profilujúce prednášky pre jadrovú a subjadrovú fyziku*

- Interakcia žiarenia s látkou
- Urýchľovače častíc
- Experimentálne metódy fyziky ťažkých iónov
- Interakcie v jadrách
- Modely atómového jadra
- Spektrometria vzbudených stavov jadier
- Elektromagentické žiarenie elementárnych častíc
- Teória mnohonukleónových systémov
- Kinematika elementárnych častíc
- Neutrínová fyzika
- Detekčné metódy fyziky vysokých energií
- Vybrané kapitoly z fyziky vysokých energií
- Zriedkavé jadrové premeny
- Symetrie vo fyzike elementárnych častíc

*Alternatívne profilujúce prednášky pre aplikovanú jadrovú a environmentálnu fyziku.*

- Reaktorová fyzika
- Rádioaktivita v životnom prostredí
- Jadrová energetika a životné prostredie + mikrodozimetria
- Radón, meranie a riziko
- Aplikácie rádioizotopov a zväzkov častíc v praxi
- Vybrané kapitoly spektrometrie gama žiarenia
- Radiačná environmentálna fyzika
- Kozmogénne nuklidy v životnom prostredí

*Alternatívne profilujúce prednášky pre počítačovú fyziku*

- Styk počítača s prostredím
- Základy číslicovej a impulznej techniky
- Modelovanie experimentu
- Numerické metódy v jadrovej fyzike
- Aplikačný software
- Programovací jazyk C++
- Moderné trendy v počítačovej fyzike

## Významnejšie vedecké projekty riešené na KJF

### *Fyzika ťažkých a superťažkých jadier*

Pracovníci katedry už viac rokov úspešne spolupracujú s dvoma významnými jadrovo-fyzikálnymi centrami na vytvorení nových superťažkých chemických prvkov a nových izotopov najťažších prvkov (Ústav pre výskum ťažkých iónov GSI Darmstadt, Nemecko a Laboratórium jadrových reakcií LJR, SÚJV Dubna, Rusko). V rámci tejto spolupráce boli v roku 1994 v GSI Darmstadt objavené dva nové superťažké prvky s atómovým číslom Z = 110 a 111 a v roku 1996 ďalší prvok so Z = 112. V rámci spolupráce s LJR v Dubne boli v roku 1999 vytvorené superťažké jadrá so Z = 114. Bol vytvorený aj celý rad nových izotopov a boli dosiahnuté aj ďalšie významné fyzikálne výsledky. Predmetom projektu je aj vývoj analytických počítačových metód pre spracovanie a analýzu experimentálnych údajov a vývoj špeciálnych detekčných systémov. Program výskumu superťažkých jadier ostáva ja naďalej prioritným programom najvýznamnejších svetových jadrovo-fyzikálnych laboratórií. Do vedeckého programu sú zapojení aj diplomanti a doktorandi katedry najmä formou študijných pobytov v zahraničných výskumných centrách.

### *Simulácie a optimalizácia detekčných systémov*

V aplikáciách vyžadujúcich použitie germániových detektorov s veľmi nízkym pozadím (napr. vo fyzike životného prostredia) je potrebné tieto detektory vybaviť tieniacimi krytmi. Pre dobre navrhnuté systémy je zvyškové pozadie generované najmä interakciami tvrdého kozmického žiarenia (hlavne miónov) s tieniacim krytom. Tieto procesy sú pomerne komplikované a ich teoretické štúdium, ktorého zmyslom je predpovedať a optimalizovať pozadie detekčných systémov, je možné iba použitím počítačových simulácií metódou Monte Carlo. Vďaka spolupráci tímov z fyziky vysokých energií (CERN) a nízkych aktivít bol vytvorený počítačový model indukcie pozadia detektorov ionizujúceho žiarenia, ktorý je založený na programovej knižnici GEANT pôvodne určenej pre simulácie detektorov vo fyzike vysokých energií. KJF má v tejto oblasti svetové prvenstvo dokumentované niekoľkými publikáciami v špičkových časopisoch a kontraktom s Medzinárodnou agentútou pre atómovú energiu, týkajúcim sa simulácií a optimalizácií detekčných systémov pre jej nízkopozaďové laboratóriá. V súčasnosti je zvládnuté aj modelovanie pozadia generovaného rádiogénnym $^{210}$Bi v tieniacom olove (ďalšia podstaná zložka pozadia) a overuje sa použitie neutrónového transportného programu MCNP z Los Alamos National Laboratory pre detailné simulácie zložky pozadia generovanej neutrónmi.

### *Výskum v oblasti neutrónovej fyziky*

Na KJF sa študujú zriedkavé reakcie neutrónov s atómovými jadrami. V tomto smere intenzívne spolupracujeme s Laboratóriom neutrónovej fyziky SÚJV Dubna a Fyzikálno-energetickým ústavom v Obninsku (Rusko).

### *Dvojitý $\beta$ rozpad a nová fyzika za štandardným modelom.*

Dvojneutrínový dvojitý $\beta$ rozpad s dvoma elektrónmi a dvoma antineutrínami v konečnom stave je najzriedkavejší proces, ktorý bol doposiaľ experimentálne pozorovaný. Daný mod dvojitého $\beta$ rozpadu predstavuje citlivý test pre štúdium rôznych modelov jadra a teórii mnohonukleónových systémov. Bezneutrínový mod dvojitého $\beta$ rozpadu je proces, ktorý je možný len v rámci teórií za štandardným modelom elektroslabých interakcií. Tento mod vyžaduje, aby neutríno bolo majoranovskou časticou s nenulovou hmotnosťou. V rámci katedry boli navrhnuté významné mechanizmy narušenia leptónového náboja generujúce daný proces, ako aj unikátne jadrové štruktúrne metódy potrebné pre získanie informácií o rôznych parametroch teórií veľkého zjednotenia.

## Základné zariadenia na katedre

- laboratórium spektrometrie gama žiarenia, veľkoobjemové HPGe detektory, nízkopozaďové tieniace kryty, viackryštálové spektrometre
- rádiouhlíkové laboratórium, interné proporcionálne počítače, aparatúry na prípravu metánu
- radónové laboratórium, veľkoobjemové scintilačné komory pre kontinuálne monitorovanie $^{222}Rn$
- zariadenia pre odber vzoriek $^{14}C$, $^{85}Kr$ a aerosolov z atmosféry
- laboratórium pre kompletizáciu a testovanie Si mikrostripových detektorov
- v rámci zahraničnej spolupráce sa využívajú zariadenia SUJV Dubna, CERN Ženeva, GSI Darmstadt, HEPHY Viedeň
- lokálna počítačová sieť predstavuje rýchlejšiu alternatívu lokálneho spojenia pracovných staníc a katedrových serverov na báze 100 Mb ethernet-u, keď je to poterbné. Okrem jednoužívateľských systémov disponuje katedra mnohými výkonnými servermi s najsilnejším dostupným hardwarom s operačným systémom linux. Na katedrovú alebo fakultnú sieť sú pripojené všetky počítače nášho pracoviska.

K zabezpečeniu výuky v rámci študijného zamerania *jadrová fyzika* katedra vybudovala vlastnú počítačovú učebňu, ktorá je k dispozícii študentom. V rámci modernizácie katedrovej siete sa každoročne ráta aj s ďalším rozširovaním učebne a modernizáciou inštalovaných počítačov.
Okrem hardwarovej stránky je dôležité aj programové vybavenie katedry. Pre zamestnancov a študentov MFF UK je prístupná CERNovská programová knižnica spravovaná našou katedrou. Jedná sa o unikátnu sadu viac než 2500 programov, podprogramov a funkcií pre fyzikálne výpočty. Knižnicu sme získali v rámci spolupráce s Európskym centrom jadrových výskumov v Ženeve. Servre, určené na výpočty a poskytovanie centrálnych služieb na našej katedre, prevádzkujeme pod operačným systémom linux, pre workstations doporučujeme operačný systém Windows NT/2000.
Pre zaujímavosť spomeňme, že WWW server katedry je prvým WWW servrom na Slovensku. Pôvodne fungoval pod operačným systémom VMS (používali sme najprv beta-verziu http serveru z CERNu). Neskôr bol samozrejme premiestnený na modernejší hardware, kde je prístupný na URL *http://www.dnp.fmph.uniba.sk/* . Nájdete na ňom informácie o katedre a kompletnú dokumentáciu k CERNovskej programovej knižnici. K dispozícii je aj zoznam liniek k iným informačným serverom najmä z oblasti fyziky a výpočtovej techniky.

## *Experiment ATLAS*

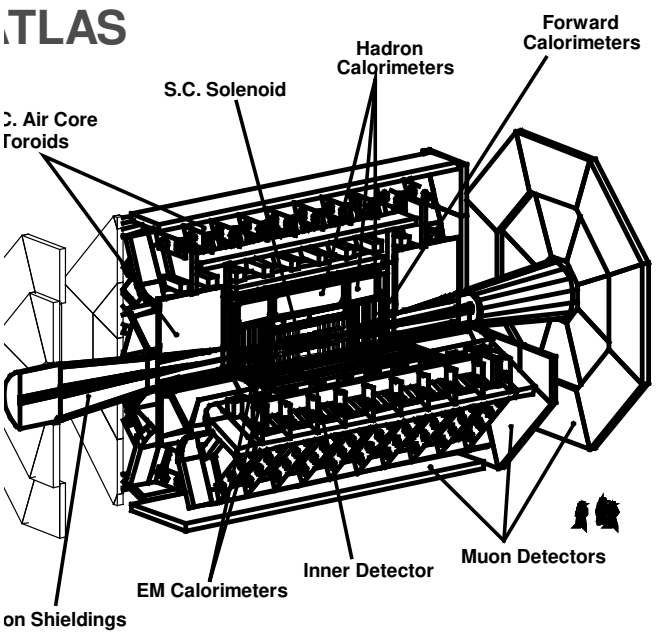
Experiment ATLAS je univerzálne zameraný experiment, cieľom ktorého je preveriť štandardný model, nájsť Higgsov bozón a prípadne objaviť fyziku za štandardným modelom. My sa podieľame na vývoji Hadrónového kalorimetra. Tento je zložený z vrstiev železného absorbéra a plastického scintilátora. Kalorimeter bude slúžiť na meranie energie častíc metódou ich úplnej absorbcie. Prototyp kalorimetra bol skonštruovaný a testovaný v CERNe. My sme sa zamerali na rekonštrukciu dát zo samostatného a kombinovaného runu s cieľom optimalizovať energetické rozlíšenie a dosiahnuť lepšiu rekonštrukciu energie. Použili sme korekciu založenú na určení priečneho polomeru spŕšky. Totiž, jedným zo základných problémov hadrónovej kalorimetrie je vysporiadať sa s problémom nekompenzovanosti. Tento efekt je spôsobený rozličnou odozvou kalorimetra na elektro-magneticky a silno interagujúce častice. Stredný podiel $\pi^0$- mezónov v hadrónovej spŕške (ktoré ďalej interagujú elektro-magneticky) sa zvyšuje s rastúcou energiou ineragujúcej častice, čo má za následok nelinearitu odozvy. Fluktuácie podielu $\pi^0$- mezónov v spŕške vedú potom k zhoršovaniu energetického rozlíšenia kalorimetra. Cieľom našej práce je vyvinúť metodiku, ktorá by na základe priečneho rozmeru spŕšky dokázala kvantitatívne vyjadriť nárast signálu kalorimetra ako funkciu podielu elektromagnetickej komponenty spŕšky. Použitím tejto metodiky je možné softwarovo eliminovať nežiadúci vplyv a tým dosiahnuť lepšie energetické rozlíšenie a linearitu odozvy. Pri tom využívame skutočnosť, že elektromagnetická spŕška má ďaleko menší charakteristický priečny rozmer ako hadrónová.

### *Výskum Vavilovovho-Čerenkovovho žiarenia*

Teoreticky sa skúma súvislosť Vavilovovho-Čerenkovovho žiarenia s brzdným a prechodovým žiarením, jeho vlastnosti pri budení ťažkými iónmi a prechode kryštálmi, ako aj zákonitosti vzniku v nových meteriáloch (napr. $SiO_2$-aerogeloch). Teoretické poznatky boli využité pri stavbe čerenkovských počítačov pre rôzne experimenty napr. na registráciu antihmoty (antitrícia) alebo hľadanie izolovaného magnetického náboja - tzv. Diracovho monopólu. Experimenty sa prevádzali na rôznych urýchlených časticiach (elektrónoch a pozitrónoch v Novosibirsku, na protónoch v Dubne, Serpuchove a Sankt-Peterburgu-Gatčine, na ľahkých a ťažkých iónoch v Darmstadte). Je naplánovaný aj výskum Vavilovovho-Čerenkovovho žiarenia emitovaného elektrónmi pri ich pohybe v magnetickom poli. V blízkej budúcnosti sa predpokladá aj zahájenie výskumu optického prechodového žiarenia.

### *Procesy vyšších rádov*

Na KJF používame vysokosenzitívnu nízkopozaďovú gama-spektrometriu pri experimentálnom výskume procesov vyšších rádov sprevádzajúcich základné rozpadové procesy jadier. Z procesov vyšších rádov sa skúma vnútorná tvorba párov $e^+e^-$ sprevádzjúcich alfa a beta premenu jadier (emisia jedného $e^+e^-$ páru pripadá na $10^9$ rozpadov jadier základným procesom) a vnútorné brzdné žiarenie sprevádzajúce beta premenu jadier (emisia jedného fotónu pripadá na $10^4$ rozpadov jadier základným procesom). Výsledky týchto meraní spresňujú rozpadové schémy jadier.




### *Fyzika kvark-gluónovej plazmy*

Podľa súčasných predstáv o štruktúre hadrónov by v zrážkach ťažkých jadier pri vysokých energiách mala vzniknúť nová forma látky: kvark-gluónová plazma. Závažným problémom je však nájdenie presvedčivých experimentálnych dôkazov toho, že táto plazma počas zrážky naozaj vznikla. V prvom rade je potrebné nájsť veličinu, alebo závislosť (signatúra kvark-gluónovej plazmy), ktorá by pri nadobudnutí určitých hodnôt, alebo typu závislosti bola dôkazom vzniku kvark-gluónovej plazmy a súčasne by priniesla aj informácie o tom, ako dlho plazma existovala, aká bola jej teplota a pod.
Po experimentálnej stránke boli v minulých rokoch zhromaždené údaje o mnohočasticovej produkcii, produkcii dileptónov a fotónov a o J/Ψ potlačení v zrážkach jadier od $^{16}O$ po $^{207}Pb$ s viacerými terčíkmi najmä $^{207}Pb$. Tieto experimenty boli prevádzané najmä v CERNe a Brookhavene. Pre najbližšie obdobie sa pripravujú ďalšie experimenty. V rámci tejto spolupráce s pracoviskami zúčastňujúcimi sa na týchto experimentoch porovnávame teoretické modely s experimentálnymi výsledkami s cieľom nájsť spoľahlivú signatúru kvark-gluónovej plazmy.

### *Nukleárna astrofyzika*

Katredra má dlhé tradície a medzinárodne uznávané výsledky v oblasti štúdia produkcie kozmogénnych nuklidov a gama žiarenia v extraterestriálnych objektoch. Práca započatá štúdiom lunárnych vzoriek prinesených expedíciami Apollo pokračuje v súčasnosti hlavne v oblasti počítačovej simulácie interakcií kozmického žiarenia s vesmírnymi objektami a
efektov vyvolaných týmito procesmi. V súčasnosti v rámci spolupráce s Los Alamos National Laboratory, Max-Planck-Institut v Mainzi, s Berkeley University a Arizona State University v Tucsone sa podieľame na príprave vedeckej aparatúry a softvérového vybavenia pre lety k Marsu, Venuši, Merkúru, kométam a malým asteroidom.

### *Neutrínová fyzika*

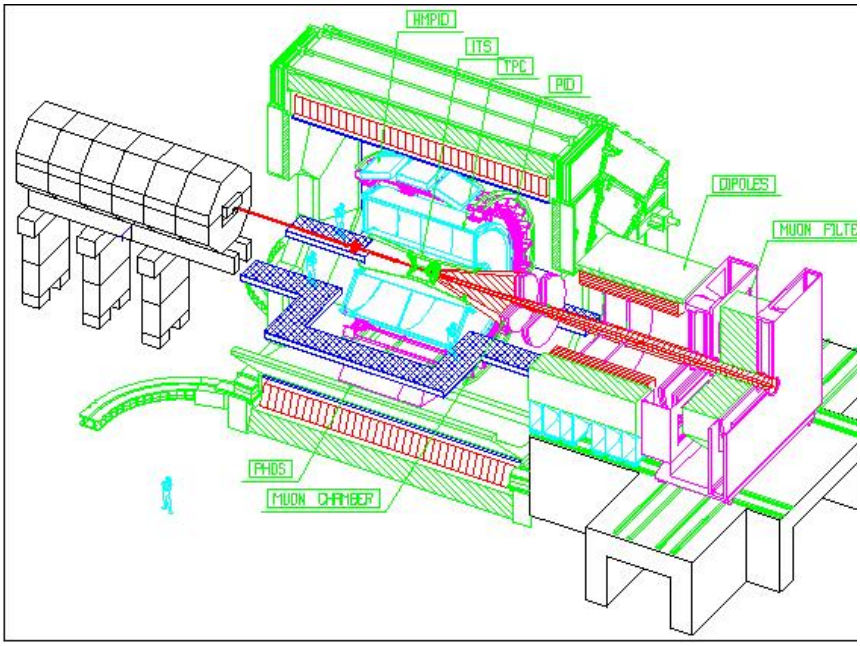
Pracovníci KJF sa zaoberajú aj fenomenológiou oscilácií neutrín - slnečných a tiež aj atmosferických. V praxi to znamená najmä modelovanie transportu neutrín v extrémnych podmienkach.

### *Antropogénne rádionuklidy*

Katedra má dlhú tradíciu v projektoch spojených s monitorovaním vybraných antropogénnych rádionuklidov v životnom prostredí. V súčasnosti prebieha meranie mesačných priemerov aktivity $^{14}CO_2$ v atmosfére v lokalitách Bratislava a Jaslovské Bohunice. Metóda merania aktivity $^{14}C$ sa využíva aj pri datovaní archeologických nálezov alebo podzemných vôd v hydrogeologickom výskume. V týždenných intervaloch je meraná atmosférická aktivita $^{85}Kr$, rádionuklidu globálneho významu emitovaného závodmi na prepracovanie jadrového paliva a vojenskými nukleárnymi závodmi. Kvalitne vybavené laboratórium gama spektrometrie poskytuje informácie o rádionuklidoch viazaných na aerosoly v ovzduší. Táto experimentálna báza poskytuje dáta o úrovni kontaminácie životného prostredia pri haváriách na jadrových zariadeniach, ako tomu bolo v prípade Černobylskej havárie, ale aj dáta využívané na štúdium transportu polutantov v atmosfére, t.j. v oblasti základného environmentálneho výskumu. Táto činnosť je prostredníctvom výskumného kontraktu koordinovaná s Medzinárodnou agentúrou pre atómovú energiu vo Viedni. Katedra spolupracuje aj s mnohými významnými svetovými laboratóriami ako s univerzitami v Berne a v Heidelbergu, so Švajčiarskym federálnym inštitútom pre environmentálne technológie v Zürichu alebo s Inštitútom pre atmosférickú rádioaktivitu vo Freiburgu.

### *Radónový program*

Na katedre sa dlhodobo sledujú sezónne a denné variácie $^{222}Rn$ vo vonkajšej atmosfére. Cieľom tohto výskumu je overiť a upresniť modely opisujúce




priemerné denné priebehy $^{222}Rn$ v atmosfére na základe regionálnych meteorologických dát, štúdium korelácií medzi koncentráciami radónu a meteorologickými podmienkami atď. Tieto výskumy majú význam nielen pre lepšie pochopenie mechanizmu variácií, ale okrem iného tiež pre presnejšie ohodnotenie príspevku koncentrácie radónu vo vonkajšej atmosfére na koncentráciu radónu v pobytových priestoroch.
Ku kontinuálnemu meraniu koncentrácie $^{222}Rn$ vo vonkajšej atmosfére sa používa nami postavená veľkoobjemová scintilačná komora, ktorá predstavuje špičkové zariadenie
tohto druhu aj vo svete. KJF je u nás prvým a zatiaľ aj jediným pracoviskom, kde bola spoľahlivo zvládnutá metodika kontinuálneho monitorovania $^{222}Rn$.
Medzi hlavné spolupracujúce organizácie našej katedry v rámci radónového programu patria Slovenský metrologický ústav, Ústav preventívnej a klinickej medicíny, Slovenská komisia pre životné prostredie a Medzinárodná agentúra pre atómovú energiu vo Viedni.

### *Modelovanie experimentov s elementárnymi časticami*

Veľmi dôležitým momentom súčasných aj budúcich experimentov vo fyzike vysokých energií je detekcia častíc s čisto elektromagnetickou interakciou (fotóny, elektróny, pozitróny). Tieto elementárne častice sa registrujú pomocou tzv. elektromagnetických kalorimetrov. Budúce experimenty orientované na také problémy fyziky elementárnych častíc ako je hľadanie Higgsovho bozónu, narušenie CP symetrie a iné previerky štandardného modelu, kladú vysoké požiadavky na také parametre kalorimetrov ako je energetické a súradnicové rozlíšenie, schopnosť separovať rôzve typy častíc atď. Ako možné riešenie sa pre tento účel uvažujú scintilačné vláknové kalorimetre a tzv. scintilačné "tile" kalorimetre. Pracovníci KJF sa zaoberajú štúdiom energetického rozlíšenia kalorimetrov takéhoto typu v závislosti od rôznych parametrov kalorimetra a registrovanej častice. Podstatou skúmania je detailná počítačová simulácia procesu interakcie vstupujúcej častice s látkou kalorimetra. Tento výskum sa realizuje v rámci spolupráce našej katedry s SÚJV Dubna (Rusko), INFN Pisa (Taliansko), a CERN (Švajčiarsko). V blízkej budúcnosti sa počíta s pokračovaním výskumu v oblasti rozlišovania mnohočasticových eventov (viac častíc s prekrývajúcou sa odozvou) a riešenia ďalších problémov súvisiacich s danou problematikou.

## *Experiment ALICE*

Experiment ALICE je zameraný na štúdium zrážok ťažkých iónov pri vysokých energiách. Teoretické predpovede ukazujú, že jadrová hmota pri veľmi vysokých hustotách energie (teplotách) prechádza do stavu, kde kvarky a gluóny existujú vo forme podobnej plazme (analógia s klasickou elektrón-iónovou plazmou) a nie súpevne viazané v hadrónoch. Takéto hustoty boli v rannom vesmíre asi 10-15 sekúnd po veľkom tresku, kedy došlo k fázovému prechodu a v dôsledku chladnutia ostali kvarky uveznené v hadrónoch tak, ako to môžeme pozorovať dnes. Skupina KJF je zapojená do vývoja detekčného subsystému centrálneho trackera, ktorého úlohou je identifikovať sekundárne vertexy (rozpady častíc s krátkou dobou života) a dadávať informáciu do centrálneho algoritmu rekonštrukcie dráh. Pracujeme na vývoji systému zberu dát pre kremíkové pixelové detektory, ktoré poskytujú skutočnú dvojdimenzionálnu informáciu o polohe prelietavajúcich častíc v oblasti interakčného bodu, kde sú najvyššie toky častíc a tiež najväčšia radiačná záťaž.
ALICE je jedným zo štyroch veľkých experimentov pripravovaných na v súčasnosti budovanom hadrónovom urýchľovači LHC v CERNe. Do jeho budovania sú zapojené stovky fyzikov z inštitútov a univerzít Európy, Ázie a Ameriky, fáza zberu dát má začať v roku 2005.