

A Debreceni Egyetem FIZIKAI TUDOMÁNYOK doktori iskolájának kutatási témái

2018.

**Vezető: Dr. Trócsányi Zoltán, az MTA tagja,
egyetemi tanár**

Debreceni Egyetem Kísérleti Fizikai Tanszék
Cím: 4026 Debrecen, Bem tér 18/a
Postacím: 4010 Debrecen, Pf. 105.
Telefon: +36-52-509-201, Fax: +36-52-509-258
Elektronikus levél: z.trocsanyi@atomki.hu
URL: <http://dragon.unideb.hu/~physphd/>

Szerkesztette:
Dr. Sohler Dóra

Tartalomjegyzék

I. Atom és molekulafizikai program	3
II. Magfizikai program	11
III. Szilárdtestfizika és anyagtudományi program	24
IV. Fizikai módszerek interdiszciplináris kutatásokban program	38
V. Részecskefizikai program	47

Debrecen, 2018. május 11.

Következő kiadás: 2019. március

I. Atom- és molekulafizikai program

Témavezető: **Dr. Nagy Ágnes**

PF1/43-93

Sűrűségfukcionál-elmélet

A sűrűség-fukcionál elmélet az atomok, molekulák, szilárdtestek és klaszterek elektronszerkezetének leírására alkalmas elmélet, melyben az elektronsűrűség az alapvető mennyiség, nem a hullámfüggvény. Ez óriási egyszerűsítést jelent, lévén az előbbi háromváltozós mennyiség, míg az utóbbi 4N változós. A kutatás a sűrűség-fukcionál elmélet több területére terjed ki:

- kicserélődési-korrelációs potenciálok és
- energia-fukcionálok vizsgálata
- kinetikus energia, Pauli-energia, Pauli-potenciál
- gerjesztési energiák számítása
- pszeudo-potenciál a sűrűség-fukcionál elméletben
- a sűrűség-fukcionál elmélet "termodinamikai formalizmusa"

Témavezető: **Dr. Pálinkás József**

PF1/49-93

Az elektron-elektron kölcsönhatás szerepe ion-atom ütközési folyamatokban

Teljesen lefosztott lövedékek (elektronok nélküli atommagok) és atomok ütközésének vizsgálata a Coulomb-erő hosszú hatótávolsága következtében napjainkban is érdeklődésre tart számot. Sokkal inkább így van ez azonban elektronokkal rendelkező lövedékek és atomok ütközése esetén. Ezen speciális soktest rendszerben, ahol az elektronok a kezdeti és a végállapotban valamelyik maghoz tartoznak, és általában az atommagok és az elektronok közötti kölcsönhatás dominál, a rendszer viselkedésének részleteit mégis az elektron-elektron kölcsönhatás határozza meg. Az anyag extrém körülmények (pl. forró plazma) közötti viselkedésének leírásában a rendszer finom hangolását elvégző elektron-elektron kölcsönhatás alapvető jelentőségű mind a leírás elvi és elméleti technikai, mind pedig a rendszer viselkedésének konkrét előrejelzése szempontjából.

A kutatási projektben az alapvető probléma annak kísérleti vizsgálata, hogy H° vagy He° lövedékionok és ugyancsak kis rendszámú céltárgyatomok (pl. He) esetén a lövedék és a céltárgy elektronjai közötti kölcsönhatás hogyan befolyásolja a céltárgy és a lövedék ionizációját. A probléma kísérleti vizsgálatához az ütközésből egyidejűleg (koincidenciában) kirepülő elektronok energia- és szögkorrelációját kell meghatározni. A mérésekben az elektronok detektálására az ATOMKI-ben meglévő elektron-spektrométerek és elektronikus berendezések használhatók. A kísérleti berendezés kisebb egységeit (pl. egyszerű elektronlencse) a hallgatónak kell megépíteni, és a kísérletet a hallgatónak kell összeállítani.

Témavezető: **Dr. Sarkadi László**

PF1/410-93

Atomi ütközésekben nyalábirányban emittált elektronokra vonatkozó vizsgálatok

A kutatási téma az atomfizika egy régi problémaköréhez kapcsolódik. Ennek gyökere a Coulomb-erő hosszú-hatótávolságú természete, amely bizonyos esetekben óriási nehézségeket



okoz az elméleti értelmezés számára. Ilyen eset pl. az atomi ütközések során a nyaláb irányában emittált elektronok energiaspektrumában fellépő "cusp" csúcs.

A cusp jelenségét már évek óta vizsgáljuk az ATOMKI-ban. A vizsgálatok számos kérdést vetettek fel, amelyek megválaszolása többek közt célkitűzése lehet egy doktori munkának is. Konkrétan a következő két kutatási feladatot kellene elvégeznie a jelöltnek:

1. Egyik legjelentősebb eredményünket semleges atomi lövedékek alkalmazásával nyertük. A megfigyeléseinket interpretáló egyik elmélet alapvető feltételezése az volt, hogy a kísérletben bombázó részként használt He atomok egy része gerjesztett (metastabil) állapotban volt. Egy előzetes kísérletünk igazolta ezt az elképzelést. További kísérletekre van szükség, amelyek során közel 100 %-ban metastabil állapotú He atomokból álló nyalábot előállítva és azzal elvégezve a kísérleteket az elmélet tesztelése céljából közvetlen összehasonlításra alkalmas adatokat nyerjünk.

2. Cusp vizsgálatainknak egy másik iránya az elektronkorreláció kutatása, amely a nagyenergiájú atomi ütközések fizikájának "forró" témái közé tartozik. Ezt jelenleg két elektron aktivizálódásával járó folyamatok megfigyelésével tanulmányozzuk. Az elektronkorreláció igen hatásosan vizsgálható a rendelkezésünkre álló elektron-spektroszkópiai módszerrel az atomi rezonanciaállapotok gerjesztése útján is. A cusp környezetében a lövedék elektronállapotainak gerjesztéseiből származó egészen kis átmeneti energiájú (kb. 10 meV) rezonanciák is kimutathatók. Egy előzetes mérés során egyszeresen pozitív szén ionok cusp spektrumában figyeltünk meg több kisenergiájú auto-ionizációs csúcsot, amelyeket még nem sikerült azonosítanunk. A kutatási feladat ezen a területen a VdG-1-gyel előállítható könnyű és nehezebb ionok (atomok) gerjesztései során előálló rezonanciák tulajdonságaira és gerjesztési lehetőségeire vonatkozó szisztematikus vizsgálatok.

Témavezető: **Dr. Ricz Sándor**

PF1/412-93

Az ütközés utáni kölcsönhatás szerepének vizsgálata az Auger-elektronok szögeloszlásában

Az atomi ütközések vizsgálatában általánosan elfogadott, hogy az ionizáció és az ezt követő legerjesztődés egymástól időben elválasztható, függetlenül tárgyalható folyamatok. Ez a közelítés jól alkalmazható nagy energiájú ion-atom ütközések esetén, amikor a folyamatok jellemzésére általában átlagos, vagy integrális paramétereket határoznak meg. A mért adatok és a "két lépéses" modell alapján számoltak jól egyeznek egymással.

Változik a helyzet, ha úgynevezett differenciális méréseket végzünk, vagyis az ütközésben keletkezett részecskék energiáját, intenzitását, az emisszió szögét is meghatározzuk. Ilyen vizsgálatok során kimutatták, hogy pl. az Auger-elektronok energia-eloszlása igen erősen függ az emisszió szögétől. Sőt indikáció van arra, hogy az intenzitás szögeloszlása is jelentősen torzul. Ezek a megfigyelések már nem értelmezhetők a "két lépéses" modell keretein belül. A kísérletileg tapasztalt anomális viselkedések elméleti magyarázatát az u.n. ütközés utáni kölcsönhatás figyelembevétele adta (pontosabban, csak az energia-eloszlás szögfüggését sikerült elméletileg leírni).

További vizsgálatok szükségesek annak tisztázására, hogy miért torzul az Auger-emisszió intenzitásának a szögeloszlása. A doktori kutatási téma az ütközés utáni kölcsönhatás következtében fellépő anomális Auger-elektron szögeloszlás tulajdonságainak kísérleti vizsgálata elektron-spektroszkópiai módszerrel.

Témavezető: **Dr. Kövér László**

PF1/420-95

Kémiai és szilárdtest-effektusok Auger átmenetekben



Az atomi környezet megváltozásának az atomi potenciálokra, atomi nívóélettartamokra, az elektronátrendeződési folyamatokra, a lokális elektron-állapot-sűrűségekre és töltéseloszlásokra, valamint az elektron- és lyuk-korrelációra gyakorolt hatásának tanulmányozása, fémes és nem fémes rendszerek felületi és határrétegeiből keltett fotoelektron és Auger-spektrumok analízisével.

Témavezető: **Dr. Sulik Béla**

PF1/422-96

Az ionizációs folyamat részletes vizsgálata ion-atom ütközéséből kilépő elektronok többszörös differenciális spektrumainak mérésével

A kutatás az atomi ütközési folyamat jobb megismerésére irányuló, elsősorban kísérleti munka. A rugalmatlan ion-atom ütközések alapfolyamatainak (ionizáció, gerjesztés, elektron-átadás, ezek kombinációi) elméleti leírását elsősorban a Coulomb-kölcsönhatás hosszú hatótávolsága teszi nehezzé. A pontos differenciális mérések alapvető jelentőségűek az atomi szóráselmélet fejlődése szempontjából.

Ha a lövedék nem teljesen lefosztott ion, hanem maga is hordoz elektronokat, az ütközési folyamat meglehetősen bonyolult. A lövedék elektronjai árnyékolják a lövedék magjának terét, de elektron-elektron ütközések révén maguk is hozzájárulhatnak a céltárgy ionizációjához. A kilökött elektronok spektruma ilyen esetekben tartalmazza a lövedékről eltávolított elektronokat (az ún. elektronvesztési folyamatból származó elektronokat) is. A különböző komponensek úgy választhatók jól szét, ha az elektronspektrumot az ütközésből kilépő lövedék (ill. az ionizált célatom) töltésállapotával koincidenzában mérjük. A koincidenzában mért kétszeresen differenciális elektronspektrumok értelmezése az atomi ütközésekre eddig kidolgozott szinte teljes elméleti arzenált igénybe veszi és jelenleg is viták tárgyát képezi az atomi ütközések fizikájában. A fenti mechanizmusok pontos ismerete nemcsak a fizikai megértés, hanem az alkalmazások (plazmafizika, sugárbiológia, stb.) szempontjából is alapvető.

Kutatásaink célja különböző töltésállapotú szén és nitrogén ionok nemesgáz atomokkal (He, Ne, Ar) való ütközéséből kilépő elektronok teljes szög és energia-eloszlásának kísérleti meghatározása koincidenzában a szórt ionok töltésállapotával, az 50-150 keV/u bombázó energia tartományban. Célunk a nyert adatok minél teljesebb elméleti értelmezése. Szűkebb célkitűzés az elektronvesztési folyamatot meghatározó mechanizmusok tanulmányozása, különös tekintettel az - elméleti szempontból legérdekesebb - 180 fok körüli tartományra. Néhány előzetes méréstől eltekintve, a kutatások most indulnak. A PhD hallgató tehát a kezdetektől kapcsolódhatna be egy témába. A munka, különösen az első időkből, túlnyomóan kísérleti jellegű, magas színvonalú kísérleti technika elsajátítását igényli. A mérések egy részét nemzetközi együttműködésben tervezzük.

Témavezető: **Dr. Pálincás József**

PF1/424-97

Ionok ECR plazmában végbemenő töltésállapot-változásainak modellezése

A doktori munka során modellezni kívánjuk az elektron-ciklotron-rezonancia ionforrás (ECRIS) forró (5-30 keV) plazmájában lejátszódó töltésállapot változásokat a berendezés által előállított különböző ionok esetén. Az ionok plazmabeli töltésállapotát és a plazma paramétereit a kibocsátott fény és röntgensugárzás mérésével kívánjuk meghatározni. Az ionforrásból kivont nagytöltésű ionok töltésállapotának és a plazma jellemzőinek



összefüggését meghatározva az ECR ionforrás működési feltételeinek javítását is célul tűztük ki.

Témavezető: **Dr. Biri Sándor**

PF1/427-03

Nagy töltésű nehézion plazmák vizsgálata

Az elmúlt években az ATOMKI-ban egy Elektron Ciklotron Rezonancia (ECR) ionforrás került üzembe helyezésre, amivel létrejött Magyarország és Közép-Kelet-Európa első, erősen lefosztott nehézionnyalábot szolgáltatni képes részecskegyorsítója. Az ionforrás a periódusos rendszer legtöbb eleméből képes erősen ionizált plazmát és tetszőleges lefosztottságú, kisenergiájú nyalábot előállítani (<http://www.atomki.hu/ECR>).

Az ECR ionforrás mellett és részben magán az ionforráson lehetséges kísérleti atom- és plazmafizikai kutatások elsődleges célja e szokatlan, földi körülmények között máshogyan nehezen előállítható anyag jobb megismerése diagnosztikai módszerekkel (Langmuir-szondák, látható fény és röntgendetektorok), melynek eredményeképpen egy sor fizikai paraméter (pl. ion-töltéseloszlás, plazmapotenciál, elektronsűrűség és hőmérséklet, atomi átmenetek) jobb megismerése válik lehetővé. A szükséges berendezések (detektorok, spektrométerek, számítástechnika) az ATOMKI-ban a DE-KFI-ben és külföldi együttműködő partnereinknél rendelkezésre állnak. A másodlagos kutatási téma fullerén plazmák és ionnyalábok előállítása új módszerekkel, endohedrális (centrumában idegen atomot tartalmazó) fullerének előállítása, keletkezési mechanizmusának kutatása. E témák megkövetelik az ECR ionforrás részletes megismerését és felügyelet melletti önálló üzemeltetését is.

Az ECR csoport kifejlesztett egy PC-szoftvert, mellyel bonyolult mágneses ioncsapdák és az e csapdában végbemenő elemi folyamatok egy része (töltött részecske mozgás, elektron ciklotron rezonancia, stb.) szimulálhatók. A program szisztematikus futtatására épülő kiegészítő kutatások elsődleges célja különböző (nemcsak ECR) ioncsapdák tanulmányozása, kísérleti eredmények (végrehajtott és tervezett) számítógépes szimulációja.

Témavezető: **Dr. Tőkési Károly**

PF1/428-03

Töltött részecskék kölcsönhatásai szabad atomokkal és szilárdtestek felületeivel

A lassú és nagy töltésű ionok (HCI) előállításához szükséges eszközök megjelenésével (elektron ciklotron rezonancia ionforrás (ECR), elektron-nyaláb ionforrás (EBIS)), a tudományos aktivitás, mind kísérleti, mind elméleti szempontból, óriási mértékben megnőtt a HCI-szilárdtest kölcsönhatások tanulmányozása terén. Egyik legalapvetőbb sajátosága ezeknek a kutatásoknak a felületi elektronok erős Coulomb perturbáció jelenlétében létrejövő komplex több-test válaszában nyilvánul meg. Ezeken felül a többszörösen töltött ionok és szilárdtestek kölcsönhatásainak tanulmányozása jelentős műszaki jelentőséggel bír, például az ionok által kiváltott anyagkárosodás, a felületi módosítások és a plazma-fal kölcsönhatásának megértésében.

Másrészt, a múlt század kezdetétől folyamatos érdeklődés övezi a különböző ionok fékeződésének vizsgálatát atomokon, molekulákon és szilárdtestekben. Ezeket a munkákat sok tekintetben sarkalta az a tény, hogy a nagy töltésű ionok kölcsönhatásainak pontos ismerete igen sok alkalmazásban kap nagy gyakorlati jelentőséget (felületi diagnosztika, spektroszkópia). A többszörösen töltött ionok és szilárdtest kölcsönhatásainak vizsgálatok a paramétertartomány jelentősen eltér az egyszeresen vagy kétszeresen töltött ionokétól. A legfontosabb ezek közül az ion semlegesítődése többszörös elektronbefogás által, ami akár



100 elektronos folyamatokig is elmehet. Ez igen jelentős kihívást okoz az elméletnek. Mivel a rezonáns átadási folyamatok nagyon messze vannak az alapállapottól, azt várhatjuk, hogy ezek az állapotok nagy távolságban keletkeznek a felülettől, amikor az atomi hullámfüggvények elkezdik érinteni a felületet. Ez az egyszerű kép azt a lehetőséget kínálja, hogy az ion-felület kölcsönhatásai a felülettől nagy távolságokban vizsgálhatók. Pl. azon ionok fekeződésének a tanulmányozása, amelyek a kölcsönhatás egész idejében nem ütköznek bele a felületbe (ld. lent mikropillaris céltárgy), megteremti annak a lehetőségét, hogy a felületi veszteségi függvény a tömbi veszteségi függvény hozzákeveredése nélkül vizsgálható. Ez a technika csak a közelmúltban került bevezetésre.

Elméleti leírása ezeknek az új típusú folyamatoknak távol áll a teljes megértéstől. Korai munkák klasszikus dinamikai leírásokra épülnek, amelyek igen hatékonyan bizonyultak a kísérleti eredmények leírásában. A tervezett munkák egyik célkitűzése a klasszikus elméletek részletes tesztjének elvégzése és kvantummechanikai többtest elmélet kidolgozása nagytöltésű iononok és szilárdtest kölcsönhatások tanulmányozására.

Témavezető: **Dr. Sulik Béla**

PF1/429-06

Relativisztikus atomfizika tárolóúrkben

A téma a nagyenergiás atomfizika és magfizika egyik központjának, a németországi Darmstadt-ban található Gesellschaft für Schwerionenforschung (GSI) gyorsítóközpont nemzetközi együttműködésben tervezett továbbfejlesztéséhez (Facility for Antiprotonic and Ionic Research, FAIR, <http://www.gsi.de/fair>) kapcsolódik, annak is a tervezett atomfizikai (Stored Particle Atomic Physics Research Collaboration, SPARC, <http://www.gsi.de/fair/experiments/sparc/>) együttműködéséhez. Itt az elkövetkező négy-öt évben kísérleti berendezések fejlesztése folyik majd, amelyeket távlatilag az érdekelt fejlesztők és otthoni intézményeik elsőbbséggel használhatnak.

Az ATOMKI a Debreceni Egyetemen közösen két óriás mágneses elektronspektrométer (http://www.gsi.de/onTEAM/grafik/1068560945/TR_ELOI.pdf) és egy – az ütközésből kilépő valamennyi részecske lendületvektorát meghatározni képes komplex berendezés – egy „reakciómikroszkóp” (<http://www.gsi.de/fair/experiments/sparc/coltrims.html>) kifejlesztésében kíván szerepet vállalni. Ehhez a munkához a gyakorlatban egy, vagy két PhD hallgató darmstadti kiküldésével tudunk hozzájárulni. A hallgató(k) előreláthatólag a Debreceni Egyetem / GSI / Universitat Giessen közös témavezetésével végeznék munkájukat (munkájukat), amely jelentené:

- az első fázisban a spektrométerek tervezését (az abban való jelentős részvételt) az elérhető legjobb professzionális tervezőprogramok (OPERA, TOSCA) segítségével,
- és hasonló munkát a reakció-mikroszkóp tervezésében.
- Ezen túl, részt venne a jelenlegi gyorsítókon folyó kísérleti atomfizikai kísérletekben (pl egy és kételektronos nehézionok ionizációja, kételektronos rekombináció, radiatív elektronbefogás, a QED pontosságát, érvényességi tartományát ellenőrző mérések, stb.).

Részletes információt a témavezető (sulik@atomki.hu) tud adni.

Témavezető: **Dr. Vibók Ágnes, Dr. Halász Gábor**

PF1/431-08

Foton indukált nemadiabatikus kvantum molekula dinamika

A molekuladinamikai folyamatok kvantummechanikai leírására a fizika és kémia egyik



leggyakrabban használt közelítési módszere az 1927-ben kidolgozott Born-Oppenheimer (BO), vagy adiabatikus közelítés, amely az elektronok és a jóval nehezebb atommagok mozgásának szétválasztásán alapul. Bár a BO közelítés gyakran elegendő pontosságú a molekuláris sajátságok és folyamatok kívánt szint megértéséhez, - ezen esetekben ugyanis mindig teljesül, hogy az elektron energiák jól elkülönülnek egymástól -, a jelenségek egy lényeges csoportja azonban mégsem írható így le. Ez akkor fordul el, amikor két vagy több elektronállapot azonos energiával rendelkezik ("kónikus kereszteződések"), vagyis elfajult elektronállapotokkal van dolgunk. Ilyenkor átmenetek jönnek létre az egyes adiabatikus elektronállapotok között.

Nagyon sok olyan biológiai, kémiai, fizikai folyamat játszódik le a természetben (pld. a legtöbb fotokémiai reakció is), amikor egy molekuláris rendszerben degenerált állapotok lépnek fel, és ezáltal indokoltá válik a nem adiabatikus közelítésben történő leírás. Kónikus kereszteződések már megjelennek kis molekulák alacsony fekvő elektron állapotai között is, számuk azonban rohamosan növekszik az atomok ill. a vizsgálni kívánt elektronállapotok számának növekedésével. Sok atomos rendszer esetén gyakorlatilag végtelen sok kónikus kereszteződéssel kell számolnunk, amelyek csatornaként szolgálnak a gyors sugárzás mentes átmenetek számára a megfelelő elektronállapotok között. A nagyon gyors (femto szekundumos) dinamikai folyamatok mindig a kónikus kereszteződésekön keresztül játszódnak le.

Témavezető: **Dr. Pálinkás József**

PF1/432-08

Szilárd testek felületén egzotikus ionokkal történő besugárzás hatására bekövetkező változások

Témavezető: **Dr. Pálinkás József**

PF1/433-08

ECR ionforrás plazmájának vizsgálata röntgenspektroszkópiai módszerekkel

Témavezető: **Dr. Sulik Béla**

PF1/434-08

Biológiai sugárkárosodás és iontechnológia folyamatok szempontjából fontos atomi és molekuláris ütközési folyamatok

Olyan ion-atom és ion-molekula ütközési folyamatokat vizsgálunk, amelyek meghatározó szerepűek a biológiai szövetek kis és nagy molekuláinak károsodásában, (ez elsősorban az ionsugaras rákgyógyászat fejlődése szempontjából fontos terület), valamint olyanokat, melyek az ion-szilárdtest ütközések megértése és a megfelelő alkalmazások szempontjából lehetnek fontosak. Elsősorban kis molekulák ionbombázás hatására történő széttöredezését mérjük és modellezzük, valamint azokat a sajátos ionizációs mechanizmusokat kutatjuk, melyek az ionok anyagban való lelassulása során gyors elektronokat keltenek. Ezeket a jelenségeket az ATOMKI Van de Graaff gyorsítója és elektron-ciklotron rezonanciás (ECR) ionforrása mellett tanulmányozzuk, részben nemzetközi együttműködésekben. A PhD hallgató elsődleges feladata a kísérleti munkában való részvétel, majd az önálló kísérleti munka lesz, de bekapcsolódhat a jelenségeket értelmező számolásokba is.

Részletes információt és irodalmat a témavezető (sulik@atomki.hu) tud adni.



Témavezető: **Dr. Sulik Béla**

PF1/435-08

Szigetelő nanokapillárisok kölcsönhatásai ionokkal: Ionnyalábok terelése, fókuszálása

A téma egy 2002-ben felfedezett új jelenség vizsgálata és alkalmazása. Jó szigetelő fóliákban kialakított, 50-200 nm átmérőjű csövecskék képesek néhány keV energiájú ionokat eredeti irányuktól jelentősen (5-25 fokkal) eltéríteni. A jelenséget a kapillárisok belső feltöltődése teszi lehetővé, amely **önszervező** módon megy végbe. Ezt a jelenséget tanulmányozzuk az ATOMKI elektron-ciklotron rezonanciás (ECR) ionforrása mellett, és nemzetközi együttműködésekben. Távlati célunk a jelenséget felhasználó, görbített fóliákkal történő ionfókuszáló elemek készítése keV energiájú ionnyalábokhoz. A PhD hallgató elsődleges feladata a kísérleti munkában való részvétel, majd az önálló kísérleti munka lesz, de kívánatos (és érdekes) a jelenséget értelmező modellszámolásokba is bekapcsolódnia.

Részletes információt és irodalmat a témavezető (sulik@atomki.hu) tud adni.

Témavezető: **Dr. Halász Gábor**

PF1/436-08

Elfajult állapotok molekuláris rendszerekben

A molekuladinamikai folyamatok kvantummechanikai leírására a fizika és kémia egyik leggyakrabban használt közelítési módszere az 1927-ben kidolgozott Born-Oppenheimer (BO), vagy adiabatikus közelítés, amely az elektronok és a jóval nehezebb atommagok mozgásának szétválasztásán alapul. Bár a BO közelítés gyakran elegendő pontosságú a molekuláris sajátságok és folyamatok kívánt szint megértéséhez, - ezen esetekben ugyanis mindig teljesül, hogy az elektron energiák jól elkülönülnek egymástól -, a jelenségek egy lényeges csoportja azonban mégsem írható így le. Ez akkor fordul el, amikor két vagy több elektronállapot azonos energiával rendelkezik ("kónikus kereszteződések"), vagyis elfajult elektronállapotokkal van dolgunk. Ilyenkor átmenetek jönnek létre az egyes adiabatikus elektronállapotok között.

Nagyon sok olyan biológiai, kémiai, fizikai folyamat játszódik le a természetben (pl. a legtöbb fotokémiai reakció is), amikor egy molekuláris rendszerben degenerált állapotok lépnek fel, és ezáltal indokoltá válik a nem adiabatikus közelítésben történő leírás. Kónikus kereszteződések már megjelennek kis molekulák alacsony fekvő elektron állapotai között is, számuk azonban rohamosan növekszik az atomok ill. a vizsgálni kívánt elektronállapotok számának növekedésével. Sok atomos rendszer esetén gyakorlatilag végtelen sok kónikus kereszteződéssel kell számolnunk, amelyek csatornaként szolgálnak a gyors sugárzás mentes átmenetek számára a megfelelő elektronállapotok között. A nagyon gyors (femto szekundumos) dinamikai folyamatok mindig a kónikus kereszteződésekön keresztül játszódnak le.

Témavezető: **Dr. Vibók Ágnes**

PF1/437-11

Lézerrel szabályozható nemadiabatikus folyamatok molekuláris rendszerekben

Molekuláris rendszerekben, amikor két vagy több elektronállapot azonos energiával rendelkezik elfajult vagy más néven degenerált elektronállapotokkal van dolgunk. Ilyenkor átmenetek jönnek létre az egyes adiabatikus elektronállapotok között, melyekért az ún. nemadiabatikus csatolások a felelősek. Nagyon sok olyan kémiai, fizikai folyamat játszódik le a természetben, pl. disszociáció, proton transzfer, több atomos molekulák



izomerizációs folyamatai vagy gerjesztett állapotok sugárzásmentes lebomlásai stb., amikor egy molekuláris rendszerben degenerált állapotok (ún. „kónikus kereszteződések”) lépnek fel. Ezen kónikus kereszteződések az elektron energiaszintek között kulcsfontosságú szerepet játszanak a nemadiabatikus molekuláris folyamatokban. Ilyenkor a mag és az elektronmozgás csatolódik, amelynek következményeként az energiacserelődés az elektronok és magok között igen jelentőssé válhat.

Nemrégiben megmutatták, hogy kónikus kereszteződések kialakulhatnak akár álló, akár pedig haladó lézerhullámok hatására is egy molekuláris rendszerben. Míg a „természetes” kónikus kereszteződések nem szabályozhatóak, addig a fényvel indukált megfelelőik, igen. Ezen utóbbiak helyzetét a lézer frekvenciája, míg a nemadiabatikus csatolásuk erősségét a lézer intenzitása határozza meg. Vagyis változtatva a lézer fény frekvenciáját és intenzitását, eltérő tulajdonságú kónikus kereszteződések alakíthatunk ki. Ilyen módon szabályozni tudjuk a molekuláris rendszerbe „mesterségesen bevitt” nemadiabatikus hatások erősségét. Ezzel egy új, „lézer-anyag” kölcsönhatáson alapuló kontroll elmélet alapjai teremthetők meg.

A doktori munka célja lézerrel indukált kónikus kereszteződések hatásának vizsgálata két ill. háromatomos molekulák különböző fizikai tulajdonságaira (fotodisszociáció, irányítottság, stb.).

A téma elméleti, de a kapott eredmények és koncepciók ellenőrzése céljából kísérleti kollaborációban tervezzük végezni.

Témavezető: **Dr. Ricz Sándor**

PF1/438-13

Lézer-foton és anyag kölcsönhatásának vizsgálata nagy energia felbontású fotoelektron spektroszkópiai módszerrel, egyidejű energia és szög analízissel (HAPES)

A javasolt kutatási téma keretében egy új tudományos területet szeretnénk meghonosítani a foton-anyag kölcsönhatások tanulmányozására olyan foton energia tartományban, amely az ultrarövid, nagyintenzitású látható lézer fotonoktól a röntgen tartományig terjed. Kísérleti vizsgálatokra nagy energia felbontású fotoelektron spektroszkópiai módszert alkalmazunk, egyidejű energia- és szöganalízissel. A gerjesztő fotoncsomagok időbeli kiterjedtsége a néhány száz 100 ps-os tartománytól a néhány tíz attoszekundumig terjed. Az ELI (Extreme Light Infrastructure) Attosecondos Nyalábcsatornája az atomi és molekuláris elektronok keringési idejével összemérhető időtartamú fotoncsomagokat fog előállítani, amely a HAPES rendszerrel kombinálva lehetővé teszi a korrelációs folyamatok dinamikai vizsgálatát atomos és molekuláris rendszerekre.

Témavezető: **Dr. Nagy Ágnes**

PF1/439-13

Kvantum fázisátmenetek, klasszikus és kvantum káosz

A kvantum-fázisátmenetek nulla hőmérsékleten következnek be. A klasszikus fázisátalakulásoktól eltérően, a kvantum-fázisátmeneteket a kvantumfluktuációk indukálják. A kvantum-fázisátmeneteket gyakran modelleken (pl. Dicke, vibron) tanulmányozzák. Ezek Hamilton-operátorai $H=h + \lambda V$ alakúak, ahol h integrálható. A λ kontrollparaméter egy bizonyos értékénél hirtelen változások következnek be a rendszerben.

A Dicke-modell esetében megmutatták, hogy az átmeneti pontban a rendszer kvázi integrálhatóból kaotikussá válik, Mivel a kvantummechanika lineáris, ezért a klasszikus értelemben vett káosz nem létezik. A kvantum káosz a klasszikusan kaotikus rendszerek kvantummechanikai tanulmányozását jelenti. A kvantum-fázisátmenetek gyakran előjelei a



kvantumkáosz megjelenésének. A kutatás a kvantum-fázisátmenetek, a klasszikus és kvantum káosz és ezek kapcsolatának vizsgálatára irányul.

Témavezető: **Dr. Pálinkás József**

PF1/440-13

Atomfizikai folyamatok szerepe a plazma-állapotok kialakulásában

Témavezető: **Dr. Vibók Ágnes**

PF1/441-14

Foton indukált elektron és magdinamika molekuláris rendszerekben attoszekundumos és néhány femtoszekundumos időskálán

A huszadik század végére a femtoszekundumos lézerimpulzusok kifejlesztésével lehetővé vált az ún. pumpa-próba kísérletek kidolgozása, amelyek segítségével sikerült megvalósítani molekuláris rendszerek atommagjainak szabályozását. Jelen századunkra pedig az attoszekundumos lézerimpulzusok megjelenésével már az atomok elektronjainak megfigyelése is megvalósulhatott. Kézzelfogható közelségbe került, hogy atomok, molekulák és szilárdtestek belsejében végbemenő elektromos folyamatok is befolyásolhatóak legyenek.

A Ph.D munka keretében a csatolt mag- és elektrondinamika egyidejű leírására szeretnénk hatékony elméleti eljárást kidolgozni néhány atomos molekulák esetére. Megfelelő elméleti módszer(eke)t kell kidolgoznunk, amely segítségével többek között időfelbontásos fotoelektron spektrumot, illetve fotoelektron szögeloszlást tudunk számítani. Az ily módon kapott mennyiségek összevethetőek a kísérletekből kapható eredményekkel. A tervezett feladataink részben új elméleti módszerek kifejlesztését (amelyek eddig nem álltak rendelkezésre többatomos rendszerek leírására), részben pedig a kísérleteket támogató konkrét rendszerekre történő számítások elvégzését jelentik.

Témavezető: **Dr. Gulyás László**

PF1/442-15

Sokelektronos folyamatok egyszerű atomi és molekuláris ütközésekben

A közelmúltban kifejlesztett reakciómikroszkóp új fejezetet nyitott az atomi és molekuláris ütközések tanulmányozásában. Számos folyamat esetében kinematikailag teljes mérések állnak rendelkezésre, amelyek értelmezése igen komoly kihívások elé állítja az elméleti vizsgálatokat. Több elektron átmenetével járó jelenségek igen sok ütközésben figyelhetők meg. Ezek viszonylag egyszerű értelmezése az ún. független részecske közelítésben adható meg, ahol az egyrészecskés folyamat (gerjesztés, ionizáció, elektronbefogás) mind pontosabb ismerete igen fontos az elektronkorreláció lehetséges szerepének meghatározása szempontjából.

A jelen kutatási téma keretében többelektronos folyamatok vizsgálatát tervezzük egyszerű atomi (Z^{q+} - He, Li, Ne,...) és molekuláris (Z^{q+} - H₂, H₂O, CH₄,...) ütközésekben olyan nagy és közepes lövedék energiákon, ahol perturbációs eljárások alkalmazhatóak az elméleti leírások során. Az egyrészecskés folyamatokat torzított hullámú közelítésben tárgyaljuk. Lehetőség szerint az ún. sztatikus (szabad atom ill. molekula állapotokban) és a dinamikus (ütközés alatti) korreláció, valamint molekulák esetében a szétesés folyamatát is igyekszünk beépíteni a formalizmusba.



II. Magfizikai program

Témavezető: **Dr. Csikai Gyula**

PF2/42-93

Neutron dozimetriai és terápiai vizsgálatok

A térfogatra integrált fluxussűrűség spektrum mérési lehetőségének felismerése új utat nyitott meg az egész testre vagy az egyes testrészekre átlagolt neutron dózis meghatározása terén. A 14 MeV induló energiájú neutronoktól eredő spektrum visszaállítására alkalmazható dozimetriai reakciók adatai, valamint a korábbinál jobban kezelhető gépi programok rendelkezésre állnak. Ez lehetővé teszi a dózis valóságos körülményre történő meghatározását és összehasonlítását a számított adatokkal.

Feladat, a standard férfi és nő esetében a testre, valamint a különböző testrészekre átlagolt dózis mérése, majd ennek alapján a használt doziméterek hitelesítése és a gyors neutron terápiához szükséges adatok meghatározása, valamint a különböző modellszámítások ellenőrzése.

Témavezető: **Dr. Cseh József**

PF2/43-93

Szimmetriák az atommagokban

A sokrészecske-rendszeres leírására a fizika több ágában is igen hatékony eszköznek bizonyult a csoportelmélet használata. A magfizikában is számos algebrai modell született; különösen az elmúlt 15 év volt termékeny ebből a szempontból. A szimmetriák vizsgálata révén nemcsak a kísérleti adatok nagy tömegét lehet egyszerűen rendszerezni és értelmezni, hanem a különböző elméleti megközelítések egymáshoz való viszonya is áttekinthetőbbé válik.

A nukleonokat egyenként tekintetbe vevő héjmodell és az összes nukleon együttes mozgását tárgyaló kollektív modell fejlődése szempontjából egyaránt döntő fontosságúnak bizonyult a csoportelméleti megfogalmazás. A harmadik alapvető magmodellnek, melyben a magot nukleoncsoportok együttesének tekintjük, algebrai formalizmusa (ami kiterjed mind a modellter, mind a kölcsönhatások kezelésére) napjainkban körvonalazódik. E leírás fejlesztése és alkalmazása számos olyan kérdést vet fel, amelyek doktori munka keretében megválaszolhatók. A magspektroszkópiai és reakcióvizsgálatok néhány klasszikus területén túl e kutatások olyan új jelenségekkel állnak kapcsolatban, mint az egzotikus radioaktivitás és a magok szuper (hiper, ...) deformációja.

A magfizikai vonatkozásokon kívül érdekes módszertani aspektusai is vannak az ilyen vizsgálatoknak, u.n. új algebrai struktúrák (Hopf algebrák) fizikai alkalmazhatóságának feltérképezése, a szimmetriafogalom általánosítása stb.

Témavezetők: **Dr. Csikai Gyula, Dr. Raics Péter, Dr. Tárkányi Ferenc** PF2/44-93

Ciklotron neutronforrás tudományos és technológiai alkalmazásai

Debrecenben az ATOMKI-ban az MGC-20 ciklotron üzembehelyezése új lehetőségeket nyitott meg számos, elméleti és gyakorlati szempontból jelentős, differenciális és integrális neutron adat meghatározására, valamint a neutronok technológiai alkalmazásaira. Ehhez azonban szükséges egy olyan neutronforrás kifejlesztése, amelynél a jel/zaj viszony



optimalizálható, valamint a neutronenergia és annak szórása kísérletileg meghatározható. Szükséges továbbá a neutron tér, azaz a fluxussűrűség spektrum mérésére alkalmas módszer kidolgozása kiterjedt minták esetében is. A javasolt projekt sikeres befejezése, az új adatok mérésének lehetőségén túl biztosítaná a hasonló témán dolgozó külföldi kutatóhelyekkel történő további eredményes kapcsolattartást is. Ez annál is inkább fontos, mivel a neutronforrások viszonylag alacsony hozama és energiabizonytalansága miatt a világ több laboratóriumában leállították a neutron kölcsönhatások tanulmányozásának jelentős részét, jóllehet ezek az elvi kutatásokon túl a gyakorlati alkalmazások szempontjából is nélkülözhetetlenek. A két intézmény (KLTE, ATOMKI) munkatársainak a neutron generátoroknál, tandem VdG és különböző ciklotron gyorsítóknál szerzett tapasztalatai garanciát nyújtanak a témában sikeres kutatások végzésére az elkövetkezendő években.

Témavezető: **Dr. Csikai Gyula**

PF2/45-93

Gyors neutron reakciók vizsgálata

Az elmúlt 30 évben a gyors neutronok atommagokkal történő különböző kölcsönhatásaira széleskörű kísérleti és elméleti vizsgálata történt Debrecenben, részben a magreakciók elméletének tisztázására, részben a nemzetközi adatbankok által igényelt adatok meghatározására.

Ezen kutatások egy része nemzetközi együttműködésben és a Nemzetközi Atomenergia Ügynökséggel kötött kutatási szerződések, egyezmények keretében történtek. A rendelkezésre álló gyorsító- és mérőberendezések (neutron generátorok, MGC-20 ciklotron, nagy felbontású és hatásfokú γ - és neutron spektrométerek, adatfeldolgozó programok, gyors mintatovábbító eszközök) lehetővé teszik az eddigi adatok kiegészítését és pontosítását, mind az aktivációs mind a prompt módszerek terén. A széles neutron energiatarományt átfogó aktivációs hatáskeresztmetszet mérés kiegészül a prompt gammasugarak, neutronok és hasadványok detektálásával, továbbá az eredmények elméleti interpretálásával.

Témavezető: **Dr. Krasznahorkay Attila**

PF2/48-93

Transzurán atommagok szuperdeformált állapotainak magspektroszkópiai vizsgálata

A nagyspinű szuperdeformált állapotok 80-as évek beli felfedezése hatalmas lökést adott magspektroszkópiai kutatásoknak. A szuperdeformált állapotok tanulmányozásának egyik fontos szempontja az, hogy ebben az esetben a nukleonok mozgását meghatározó átlagtér különbözik a normál magokétól.

Az ATOMKI-ben a jelenség egy újfajta vizsgálati módszerén dolgozunk. A kisspinű szuperdeformált állapotok teljes spektroszkópiai analízisét tűztük ki célul. A már régóta ismert szuperdeformált hasadási izomerekre épülő gerjesztett állapotokat szeretnénk vizsgálni. A tervezett kísérletek során az urán és transzurán (Ac, Np, Pu) elemek szuperdeformált állapotait a ciklotron töltött részecske nyalábjával (p,p'), (d,p), (^3He ,p), (α ,p) reakciókban gerjesztjük. A reakciókban keletkező proton energiáját nagy pontossággal, egy most telepített nagy mágneses spektrográffal határozzuk meg. A kilépő protont a hasadási termékekkel késleltetett koincidenciában mérve azonosítjuk a szuperdeformált alapállapotra épülő gerjesztett állapotokat.

Ebben a magtartományban jelenleg még csak három szuperdeformált rotációs sávot azonosítottak ($0^+ \rightarrow 2^+ \rightarrow 4^+$). A jelen munka során a fenti gerjesztett állapotok részletesebb feltérképezését, bomlási módjainak meghatározását, illetve azok elméleti értelmezését tűzzük ki célul. Ezek a kísérleti adatok új lehetőséget jelentenek a magmodellek finomításához.



Témavezető: **Dr. Lovas István**

PF2/410-93

Fázisátalakulások a maganyagban

A maganyag a sűrűség és a hőmérséklet változtatásával különböző fázisátalakuláson mehet át. Ezen fázisátalakulások tanulmányozása fontos egyrészt bizonyos természeti jelenségek (nehéz magok, neutron csillagok, szupernóvák, ősrobbanás) megértése szempontjából, másrészt a mesterségesen létrehozott nehézion reakciók megismerése szempontjából. Ez utóbbinak az ad különleges jelentőséget és aktualitást, hogy elvben lehetőség van az anyag eddig nem ismert fázisának, a kvark-gluon plazmának a létrehozására. A folyó és a tervezett kutatásaink az anizotróp maganyag tulajdonságainak felderítésére irányulnak, különös tekintettel a periodikus viselkedést mutató állapotokra. Didaktikai szempontból a téma különlegessége abban áll, hogy a termodinamika, a statisztikus fizika a hidrodinamika, a magfizika, a részecskefizika és a relativisztikus kvantum térelmélet eszközeit egyaránt igényli.

Témavezető: **Dr. Lovas Rezső**

PF2/411-93

Nukleáris rendszerek mikroszkopikus leírása

Közhelyszámba megy, hogy az atomok, molekulák, szilárd testek és atommagok alkotórészei átlagos potenciáletteret hoznak létre, s az elektronok, illetve nukleonok első közelítésben e potenciáltérben egymástól függetlenül mozognak. Így alakulnak ki a pályák, amelyek héjakká, sávokká rendeződnek. A magok azonban e szabálynak ellenszegülő példákkal is szolgálnak: vannak olyan magok, amelyek alkotórészei csomókba tömörülnek, s így nem hoznak létre közös átlagteret és héjakat. Ilyenek például a neutrongazdag (vagy protongazdag) könnyű magok. Ezekben a csomókból kimaradó nukleonok maguk mozognak úgy mint csomók. E helyzet jellemzésére azt mondjuk, hogy a rendszert néhánytest-dinamika irányítja. A neutrongazdag magok által mutatott leglátványosabb jelenségek a neutrongóriák, amelyeket igen laza pórázon tartott egy vagy két kóbor neutron alkotja. Jelenleg ezen magok kutatása a magszerkezet-fizikának talán a legizgalmasabb területe.

Japán kollégákkal kidolgoztunk egy módszert néhánytest-dinamikát mutató rendszerek kötött állapotainak a leírására. Alkalmazzuk e módszert neutronglóriás magokra, néhány nukleon-rendszerekre, nukleonsomó-kibocsátással járó radioaktivitás leírására, molekulákra, elektron-pozitron rendszerekre, hadronokra mint többkvark-rendszerekre, amelyeket kvantumpettyeknek neveznek. Mindezen a területeken sok a nyitott kérdés, amelyeket különféle nemzetközi együttműködésekben kutatunk.

Egy doktorandus több ponton bekapcsolódhat e munkába. E témák kidolgozása elemi kvantummechanikai és komplexfüggvény-tani ismereteket kíván. Minthogy a terjedelmes számítások nagy része analitikusan végrehajtható, ami ritkaság a modern fizikában, a jelöltnek némi hajlandóságot és ügyességet kell mutatnia matematikai formulák kezelésében. A doktorandusnak alkalma nyílhat nemcsak a numerikus számítások technikájának, hanem a számítógép algebrajának a gyakorlására is. Eredményként megismerkedik a fizikai



modellalkotás elveivel, a fizikának a problémát illető ágával (pl. a magszerkezet elméletével), és tekintélyes számítástechnikai gyakorlatra tehet szert.

Témavezető: **Dr. Nyakó Barna**

PF2/413a-b-93

Középhez atommagok szerkezetének vizsgálata nehézion magreakciókban

A nehézion magreakciókra alapozott magszerkezeti kutatásokban az 1980-as évektől kezdődően jelentős szerepet kapott a nagy impulzusmomentumú magállapotok vizsgálata, elsősorban az összetett γ -detektorrendszerek megjelenésének köszönhetően. Ezen detektorrendszerek határfok-növekedése lehetővé tette - a gerjesztett magállapotok tanulmányozásának egyre nagyobb energiák és spinek felé történő kiterjesztése mellett - az igen kis hatás-keresztmetszetű magfolyamatok részletes vizsgálatát is. Ilyen vizsgálatok eredményezték pl. a szuperdeformált (erősen megnyúlt) magalakok nagy spineknél történő első kimutatását, majd a szuperdeformált állapotok szisztematikus vizsgálatát; a különböző magalakok egy adott spintartományban való együttes előfordulásának a kimutatását (alakkoegzisztencia); vagy pl. az atommag kollektív sávjai lezáródásának megfigyelését, mely effektust a gerjesztési energia növekedésével bekövetkező magalakváltozás eredményezi. Ezekben a munkákban a 80-as évek elejétől veszünk részt nemzetközi együttműködések keretében. Jelenleg a több nyugat-európai ország együttműködésével kifejlesztett EUROBALL-t, a ma létező egyik legmodernebb detektorrendszert használjuk méréseinkben. A közelmúltban bekapcsolódtunk egy új vizsgálati módszert, a radioaktív ionnyalábokat alkalmazó kutatásokba, mely nyalábokkal az extrém magállapotok tanulmányozását ki szeretnénk terjeszteni a stabil nyalábokkal nem elérhető magtartományokra is. Ezen új gamma-spektroszkópiai kutatási irányhoz kapcsolódóan részt veszünk az EXOGAM detektorrendszer kifejlesztésében, amely a GANIL gyorsító-komplexumnál fog működni, Franciaországban.

A témára jelentkező feladata bekapcsolódni a megjelölt tömegszám-tartományokba eső atommagok extrém deformációinak tanulmányozására (**PF2/413a-93**), vagy az $A \approx 100$ tömegszámú atommagok sávlezáródásai tanulmányozására irányuló **vizsgálatokba (PF2/413b-93)**. A jelöltnek jelentős szerepe lesz a már rendelkezésre álló - vagy a részvételével a későbbiekben mérendő - adatok feldolgozásában, az eredmények értelmezésében, és publikálásában. Az első témában a méréseket angol-francia-magyar együttműködés keretében Franciaországban kívánjuk végrehajtani az EUROBALL és az EXOGAM detektorrendszerek segítségével, míg a második téma keretében tervezett mérés nagy valószínűséggel a GAMMASPHERE detektorrendszerrel kerül végrehajtásra. A kiértékelő munka mindkét esetben az ATOMKI-ban meglévő számítógépes munkaállomásokon működő adatfeldolgozó rendszer segítségével (annak szükség szerinti továbbfejlesztésével) történik.

PF2/413a-93

Középhez atommagok szerkezetének vizsgálata nehézion magreakciókban; Atommagok extrém deformációi

Ezen kutatási program elsődleges célja az $A \approx 130,150$ és $A \approx 170$ tömegszám-tartományba eső atommagok az extrém deformációinak a tanulmányozása. Extrém magdeformációk alatt a nagyspinű szuper- és hiperdeformált magállapotokat - a 2:1, illetve 3:1 tengelyarányú magalakokat - értjük, amelyekhez az atommag potenciális energiájában fellépő második, illetve harmadik energiaminimum rendelhető hozzá. Ezen extrém magdeformációk-



hoz olyan rotációs sávok tartoznak, amelyek széles spintartományban szokatlanul jól közelítik a fenti deformáltságú merev testek forgási spektrumát. A legtöbb eddig azonosított szuperdeformált atommag esetén még ma is tisztázatlan a szuperdeformált és normál-deformált állapotok közötti átmenet, s emiatt a kérdéses kollektív sávok gerjesztési energiája és a sávokhoz tartozó állapotok spinje is. Emellett érdeklődésre tart számot a szomszédos atommagokban fellépő, közel azonos energiájú gamma-átmenetekkel jellemezhető szuperdeformált ikersávok vizsgálata. A hiperdeformált magállapotok előfordulása - elméleti jóslásokra alapozva - a szuperdeformált állapotokhoz viszonyítva még nagyobb spineknél (azaz még kisebb hatáskeresztmetszet mellett) és nagy valószínűséggel töltött részecske-emisszióval korrelációban várható. Ennek megfelelően gamma-spektroszkópiai módszerekkel történő kimutatásuk csak a legújabb - töltött részecskék azonosítására szolgáló segéd-detektorokkal felszerelt - gamma-detektorrendszerekkel remélhető. Jelenleg a 150-es és a 170-es magtartományba eső atommagok hiperdeformált állapotainak keresésére irányuló vizsgálátokban veszünk részt, amelyekben töltött részecske kibocsájtással járó magreakciók segítségével reméljük ezen állapotok előállítását és kimutatását, egy az ATOMKI-ban az EUROBALL-hoz kifejlesztett segéd-detektort használva.

F2/413b-93

Középnéhez atommagok szerkezetének vizsgálata nehézion magreakciókban; Atommagok alakváltozásai

Az atommagok alakjában a gerjesztési energia növekedésével bekövetkező változások vizsgálata a másik kutatási program. Az alakváltozás egyik megnyilvánulása lehet pl. a kollektív sávok lezáródása, amikor is az atommag a kollektív mozgást előnyben részesítő megnyúlt alakból fokozatosan az egyrészecske-gerjesztéseket előnyben részesítő nem-kollektív (gömbszerű) alakba megy át. Ebben a gömbszerű alakban az atommag spinje az egyes valencia nukleonok spinjének összegeként áll elő, aminek egy adott nukleonkonfiguráció esetén maximális értéke van, s ez felel meg a sávban elérhető maximális (a lezáródáshoz tartozó) spinnek. Eddigi méréseinkből, melyeket a fenti témánál említett közel azonos méréstechnika alkalmazásával végeztünk, számos $A \approx 100$ tömegszámú Ru, Rh és Pd atommagban találtunk lezáródó sávokat. Ezen sávok konfigurációit azonosítottuk és szisztematikus viselkedést találtunk a különböző konfigurációkhoz tartozó sávok szerkezetét illetően. A lezáródó sávokban a magdeformáció változását direkt módon a nívók életidejének a méréséből mutathatjuk ki. A deformációváltozás mértékének meghatározását célozza a PhD munkához kapcsolódóan végzendő élettartammérés, melyhez a GAMMASPHERE (USA) vagy a GASP (Olaszország) detektorrendszert tervezzük használni.

Témavezetők: **Dr. Csikai Gyula**

PF2/414-93

Prompt-gamma sugarakra alapozott kémiai analitikai alkalmazások

A gyorsneutronok által létrehozott prompt- γ sugárzásra vonatkozó adatok meglehetősen hiányosak a nukleáris adatcentrumok legutóbbi értékelései szerint is. A γ -spektrometria és az adatfeldolgozás fejlődése lehetővé tette az ilyen típusú komplex γ -spektrumok szisztematikus tanulmányozását, amelyet mind a gyakorlati alkalmazások (pl. a sugárvédelmek tervezése), mind a magreakciók mechanizmusának részletes tanulmányozása igényel.

Ezen módszer új területeket nyit az alacsony feszültségű neutrongenerátorok hasznosítására és egyben biztosítja a széles neutron-energia tartományú, nagy kísérleti berendezéseken folyó munkába történő bekapcsolódás lehetőségét is.



A jelenlegi téma közvetlen és alapvető célja az $(n,2n)$ reakcióban keletkező végmagok gerjesztett állapotaihoz tartozó parciális hatáskeresztmetszetek meghatározása és értelmezése valamint a γ -produkciós hatáskeresztmetszet adatok bővítése a gyakorlati alkalmazások számára.

Témavezetők: **Dr. Tárkányi Ferenc**

PF2/418a-b-93

Töltöttrészecske magreakciók hatáskeresztmetszetének meghatározása

A magreakciók hatáskeresztmetszetének meghatározása fontos szerepet játszik a kölcsönhatások és a magreakciók mechanizmusának megértéséhez továbbá a különböző alkalmazási feladatok optimalizálásánál. A kidolgozandó téma ezen belül az alábbi két altémát érinti:

PF2/418a-93

Töltöttrészecske magreakciók hatáskeresztmetszetének meghatározása alap kutatási célokra

Az eltérő spinű izomér állapotok hatáskeresztmetszet aránya információt ad a végmag nívósűrűségének spineloszlásáról és a magreakció mechanizmusáról. Különösen fontosak a több bombázó részecskével végzett széles magtartományon végzett szisztematikus vizsgálatok. A mérések az ATOMKI MGC-20 ciklotron nyalábján történnek, aktivációs technikával. Az adatok értelmezését különböző reakció modellek segítik.

A vizsgálatok széles nemzetközi együttműködésben folynak.

PF2/418b-93

Töltöttrészecske magreakciók hatáskeresztmetszetének mérése meghatározása alkalmazási célokra

A gyorsítók gyakorlati alkalmazásainak jelentős része magreakciókon alapszik. A reakció hatáskeresztmetszetek ismerete fontos szerepet játszik az izotóptermelésnél, kopásvizsgálatoknál, aktivációs analízisnél és más egyéb területeken. A mérések konkrét alkalmazásokhoz kapcsolódva új vagy ellentmondásos gerjesztési függvények meghatározását érintik. A mérési technika és az adatok értelmezése az előző pontban leírtakhoz hasonló.

Mindkét altéma egyaránt tartalmaz kísérleti részt és a bizonyos elméleti számításokat.

A vizsgálatok széles nemzetközi együttműködésben folynak külföldi gyorsítók és kutatócsoportok bevonásával.

Témavezető: **Dr. Vertse Tamás**

PF2/419-94

A kontinuum számítása gömbszimmetrikus és deformált potenciálokban a komplex skálázás használatával

A kvantummechanikában a Hamilton operátor folytonos energiájú spektruma (kontinuum) figyelembevételének számos esetben hatékony módja az, ha a kontinuum rezonáns részét leválasztjuk a simán változó nemrezonáns "háttérrel". A rezonanciák felfoghatók a rendszer komplex energiájú sajátállapotaiként, melyekhez aszimptotikusan



divergáló sajátfüggvény tartozik. Az ilyen állapotokkal való számolást teszi lehetővé a komplex skálázás módszere, melynek segítségével a divergens integrálok regularizálhatók. A nemrezonáns része a kontinuumnak bizonyos esetekben elhagyható, ha pedig ez nem tehető meg, akkor egy komplex kontúr mentén vett szórási megoldások segítségével vehető figyelembe. A projekt célja a módszer alkalmazása a magfizikában használatos realiztikus átlagpotenciálokra: mint pl. a gömbszimmetrikus és deformált (véges mélységű) héjmodell potenciálokra, valamint a komplex optikai potenciálra. Konkrét feladat a rezonancia energiák és hullámfüggvények meghatározása ezekben a potenciálokban a radiális ill. a csatolt Schrödinger-egyenlet numerikus integrálása révén. A komplex energiájú szórási állapotok hullámfüggvényeinek meghatározása az említett potenciálokban. Különböző fizikai mennyiségek várható értékeinek számítása a kötött, rezonancia és szórási állapotokból összeállított bázis segítségével. Az eredmények pontosságának ellenőrzése egyszerű modell potenciálok esetén.

Témavezető: **Dr. Csikai Gyula**

PF2/424-95

Differenciális és integrális adatok meghatározása a neutronok alkalmazásához

A mintegy 150 különböző instrumentális analitikai módszer között a neutronok a következő előnyökkel rendelkeznek: gyors és roncsolásmentes, független a mátrix típusától, több elem egyidejű meghatározása lehetséges, alkalmazható kis és kiterjedt minták on-line, helyszíni, áramlásos és mintavételes analízisének.

A neutronok egyszerű forrásokkal (~ 5 Ci Pu-Be, Am-Be, ~ 100 mg ^{252}Cf , neutron generátorra alapozott $^3\text{H}(d,n)$ reakció) előállíthatók az aktiváción, a prompt reakción, a neutron reflexion, és transzmisszió alapuló analitikai vizsgálatokhoz. Különös előnye a neutron-gamma módszernek, hogy a nagy áthatoló képesség miatt nagyméretű (\gg kg) minták analizálhatók. Ezért újabban a neutron befogást, a rugalmatlan szűrást vagy a magreakciót követő prompt gamma-sugárzást széleskörűen alkalmazzák a geológiai minták analízisére, a kémiai robbanóanyagok, a kábítószerek és más csempészárúk kimutatására. Az aktivációs analízis és a sugárhatás-vizsgálat (technológiai és biológiai anyagoknál) szintén fontos területei a neutronok alkalmazásainak.

A neutronokra alapozott módszerek érzékenysége és megbízhatósága függ a termikus és gyors fluxus optimális arányától. Ezért a fluxus sűrűség spektrumot meg kell határozni a kiterjedt minták különböző geometriai konfigurációjára. Analitikai összefüggéseket kell adni ezen adatok számítására különböző moderátor-minta-reflektor geometriai elrendezésekre. Úgyszintén meg kell határozni a minták neutron gyengítési paramétereit Pu-Be ^{252}Cf és 14 MeV neutronokra. A neutronok relatív arányának ismerete szükséges az $(n,n\gamma)$ és $(n,x\gamma)$ reakciók küszöbenergiája feletti tartományban a mintavastagság függvényében a reakciók hozamának becslésére. Az energiára átlagolt reakciósebesség-mintavastagság függésére analitikus összefüggéseket kell adni. Amennyiben a gerjesztési függvények pontatlanok, új adatokat kell mérni, illetve az adatbankok ajánlásait spektrumra átlagolt hatáskeresztmetszet mérésekkel ellenőrizni.

Témavezető: **Dr. Gál János**

PF2/427-96

Magfizikai kutatások céljaira szolgáló töltött részecske detektorok vizsgálata

Napjainkban a nagyspinű magállapotok, pl. az ún. szuperdeformált atommagok, vagy az igen kis hatáskeresztmetszetű magfolyamatok γ -spektroszkópiai vizsgálata sokelemes detektorrendszerek (pl. EUROGAM, vagy a kifejlesztés alatt álló EUROBALL) segítségével



történik. Ezen detektorrendszerek fő alkotóelemei nagy hatásfokú Ge-detektorok, de a reakciócsatornák azonosítására ezen gamma-detektorokkal együtt más típusú detektorokból álló rendszerek alkalmazása is szükséges lehet. Az ilyen segéd-detektorrendszerek feladata pl. a reakcióban keletkező részecskék fajtájának, energiájának és szögeloszlásának a meghatározása.

A nehézionokkal kiváltott magreakciókban a számos nyitott reakciócsatorna közül a vizsgálni kívánt végmagra vezetőt a kilépő neutronok és/vagy töltött részecskék számának és típusának ismeretében választhatjuk ki. Az ilyen mérésekben, pl. az erősen neutronhiányos atommagok vizsgálatakor, csak azokat az eseményeket használjuk, melyekre a reakciókban keletkező részecskék és a végmag által kibocsátott gamma-sugárzás között koincidencia volt. A töltött részecskék detektálására különböző félvezető és szcintillációs detektorok vagy ezek kombinációja használható. Szcintillációs detektorként erre a célra elsősorban a CsI(Tl) kristály+PIN fotodióda kombináció jöhet szóba. Az intézetben több éve folyik CsI detektorok és ehhez kapcsolódóan a töltött részecske diszkriminációhoz szükséges elektronika fejlesztése, a EUROBALL programhoz kapcsolódva.

Jelen téma keretében a jelölt feladata két detektortípusnak a vizsgálata. Az egyik a CsI(Tl)+PIN fotodiódából álló szcintillációs detektor, a másik pedig ezen detektornak és egy félvezető Si detektornak a kombinációja. Elsődleges cél a két detektortípus paramétereinek az optimalizálása, relatív előnyeiknek a vizsgálata.

A detektorjelek feldolgozása során az a cél, hogy az általunk szolgáltatott információt maximálisan kinyerjük, a különböző típusú részecskék (elsősorban az α részecskék és a protonok) diszkriminációjának a küszöbszintjét minél alacsonyabb energián valósítsuk meg. Ehhez szükséges a részecske-diszkriminációs módszerek optimalizálása és összehasonlítása. Az EUROBALL detektorrendszer elektronikus egységei VXI rendszerben épültek, ezért célszerű az általunk fejlesztett töltött részecske detektor elektronikus egységeit is VXI rendszerben tervezni. A VXI rendszer megismerése és alkalmazása ugyancsak részét képezi a témának.

Témavezető: **Dr. Lévai Géza**

PF2/428-96

Kvantummechanikai potenciálproblémák és alkalmazásaik

A szubatomi világ jelenségeinek leírásában igen hasznosnak bizonyultak a különféle potenciálokra alapozott modellek. Az ilyen jellegű feladatokat legtöbbször numerikus módszerek segítségével oldják meg, de egyes modellproblémák esetében lehetséges az egzakt analitikus megoldás is. Ez utóbbi esetek vizsgálata több szempontból is nagy jelentőséggel bír:

1. Az egzaktul megoldható problémák nagyban segítik a numerikus módszerek fejlesztését, mivel alkalmasak azok tesztelésére, illetve kiegészítésére.
2. Az elmúlt évtized során számos új eredmény született, amelyek segítségével az eddigiekben alkalmazott legegyszerűbb modellpotenciálok általánosíthatók és így az eddigieknél általánosabb, a konkrét alkalmazásokhoz jobban illeszkedő potenciálokra is megadható egzakt megoldás.
3. A potenciálokra alapozott leírás bővíthető a csatolt szabadsági fokú rendszerek irányába (spinek, többszörös rendszerek, stb.) és e téren is levezethetők egzaktul kezelhető problémák.

Az említett módszerek lehetséges alkalmazási területei között megemlíthetők a következők: árnyékolt Coulomb potenciálokra vezető feladatok, atomok elektromágneses térben, optikai potenciálok, rezonanciaállapotok leírása, stb.



Kiterjedt minták elemanalízise neutronokkal és gamma sugarakkal

A neutronok és gamma-sugarak nagy áthatoló képessége lehetővé teszi kiterjedt mintákban ($M \gg \text{kg}$), ($V \approx \text{m}^3$) több elem egyidejű meghatározását. A pulzált gyors neutron módszer, a társult részecske képződés és a pulzált gyors-termál neutron analízis lehetővé teszi az elemek koncentráció és térfogati eloszlásának egyidejű meghatározását.

Néhány tipikus alkalmazási terület:

1. Geológiai minták analízise. Így pl. a szénben a H, C, O és N meghatározása a fűtőérték miatt, míg az S és Cl a környezet szennyezésre ill. a korrózióra ad információt, a Si, Ca és Fe a hamutartalmat jelzi.
2. Kábítószer és csempészáru észlelése a szállító konténerben. A H, C, N, O és Cl a kábítószeres összetevői, amelyek azonosítását teszi lehetővé a nukleáris technika.
3. Robbanó anyagok kimutatása. A könnyű elemek koncentrációja és atomaránya alapján (C/O, C/N, O/N, H/C) észlelhetők a különböző robbanó anyagok.

A nukleáris analitikai módszer megbízhatósága és alkalmazhatósága további alap kutatásokat igényel a neutron fluxussűrűség spektrum és a különböző kölcsönhatási folyamatok magfizikai paramétereinek meghatározása terén.

Magfizikai módszerek alkalmazása tiltott anyagok kimutatására

(ld. PF2/429-97)

Óriásrezonanciák vizsgálata és neutronbőr-vastagság mérések radioaktív nyalábokban

Napjaink kísérleti magfizikájának egyik legjelentősebb iránya a radioaktív nyalábok használatának elterjedése. Németországban a GSI-ben, Franciaországban a GANIL-ban, az Egyesült Államokban az NSCL-ben, Japánban pedig a RIKEN-ben indítottak ilyen programokat. Az ATOMKI Magspektroszkópiai Osztálya az utóbbi években ezen laborokkal gyümölcsöző kapcsolatokat alakított ki. A nagyarányú érdeklődés oka az a lehetőség, hogy a magtérkép hatalmas, eddig még ismeretlen területeit lehet így felkutatni. A részecskebomlással szemben stabil, mintegy 7000 izotópból csupán 263 stabil izotóp fordul elő a természetben, és eddig kb. 2000-re sikerült kísérleti adatokat nyerni. A jelenlegi magszerkezetre és a magreakciókra vonatkozó magmodellek, változtatások nélkül, valószínűleg nem lesznek képesek az így kitáguló horizont értelmezésére.

Mégis sikerült olyan magtulajdonságokat feltárni, amelyek ismeretlenek voltak a stabilitási sáv környékén. Az egyik ilyen jelenség a neutronglória, a másik pedig a neutrongazdag magokban megfigyelt neutronbőr, amikor a neutronanyag egy része bőrszerűen beburkolja a magot. A neutronglória és a neutronbőr a mag alapállapotú és gerjesztési tulajdonságait is jelentősen megváltoztatja.

A neutronbőr-vastagság mérésével a nukleáris kölcsönhatás szimmetria tagját pontosíthatjuk, ami nemcsak a neutrongazdag atommagok szerkezetének értelmezéséhez, hanem a neutrongazdag maganyag tulajdonságainak, pl. a neutroncsillagok méretének kiszámításához is elengedhetetlenül fontos. Korábbi munkáinkban sikerült demonstrálnunk, hogy a spin dipólus óriásrezonancia hatáskeresztmetszete egyértelmű kapcsolatban van a gerjesztett atommag neutronbőr-vastagságával. A PhD ösztöndíj során az óriásrezonanciák



vizsgálatán túl ezt az effektust szeretnénk felhasználni a neutronbőr-vastagságok szélesebb magtartományban történő vizsgálatára. A $28 \leq Z \leq 50$ magtartományba eső atommagok neutronbőr-vastagságainak szisztematikus vizsgálatára vonatkozó pályázatokat a GSI-ben elfogadták. A mérések elkezdését 2002-ben tervezzük.

Témavezető: **Dr. Somorjai Endre**

PF2/432-02

Az asztrofizikai p-folyamat kísérleti vizsgálata

A vasnál nehezebb izotópok zömének szintézise neutronbefogási reakciók sorozatán keresztül zajlik. Ezen ún. s- és r- folyamatokat már évtizedek óta tanulmányozzák, a kísérleti eredmények (egy-két kivételtől eltekintve) nincsenek ellentmondásban az izotópok előfordulási arányaival. A nehéz, protongazdag izotópok egy kis csoportja azonban nem jöhet létre a fenti s-és r-folyamatok révén. A könnyű elemek (Li, Be, B) nukleoszintézisének problémájához hasonlóan ebben az esetben is valamilyen másodlagos reakciófolyamat játszódhat le, ezt bizonyítja ezen izotópok rendkívül alacsony előfordulása a természetben. A jelenlegi elfogadott álláspont szerint e ritka, ún. p-izotópok a szupernóva-robbanás során úgy keletkeznek, hogy a már kialakult nehéz izotópok gamma-befogási reakciókat szenvednek el, és az egymást követő (γ, n) reakciók révén relatív protontöbbletet nyernek. Egy bizonyos mértékű protonfelesleg fölött azonban már lehetséges a töltésvesztés is (γ, n) és (γ, α) reakciókkal, és éppen ezen reakciók hatáskeresztmetszete határozza meg a p-izotópok végleges mennyiségét. A fenti reakcióláncot nevezik p-folyamatnak. Sajnos a rendkívül alacsony hatáskeresztmetszetek miatt éppen ezek az értékek nem ismertek, így az asztrofizikai számítások során a statisztikus modell alapján elméleti beszéléseket használnak.

Az elmúlt évek során olyan kísérleti elrendezést fejlesztettünk ki az ATOMKI-ben, amellyel lehetővé vált alacsony energiás (α, γ) és (p, γ) hatáskeresztmetszetek mérése a p-izotópok tartományában. Ilyen jellegű vizsgálatok elvégzése lesz a jelölt feladata.

Témavezető: **Dr. Raics Péter**

PF2/434a-b-02

Atomfizika oktatása a középiskolában

A konkrét programot annak alapján lehet majd kialakítani, hogy a jelölt milyen irányultságú, tanári munkájában a magfizikai részeket hogyan dolgozta fel, esetleg milyen hagyományok és kísérleti lehetőségek vannak az iskolában. Minden témában lennie kell kísérletnek vagy bemutatásnak és/vagy kiértékelésnek, adatfeldolgozásnak is. A kísérletekhez, demonstrációkhoz igénybe lehet venni a debreceni lehetőségeken túlmenően a BMGE Tanreaktorát és a Paksi Atomerőmű bemutató centrumát. Ez olyan szempontból is fontos, hogy a tanár megismerje azokat a helyeket, ahova majd a diákok szakmai kirándulásait szervezi.

PF2/434a-02

Atommagátalakulások és nukleáris energetikai jelentőségük

Bomlástörvény a kísérletekben és alkalmazásokban. Az α -átalakulás, β -bomlás és γ -legerjesztődés jellegzetességei, magszerkezeti vonatkozásai. Magreakciók. Neutronfizika. Energiafelszabadulás és magszerkezet. Energiatermelés maghasadással és fúzióval. Nukleáris reaktorok működése, biztonsága. A nukleáris energia szerepéről és környezeti hatásairól interneten megjelenő oktatási anyag létesítése. A témához kapcsolódó iskolai kísérletek,



demonstrációk eszközeinek fejlesztése, tanítási módszerek kialakítása. Tanulást segítő adatbázisok létrehozása. Alkalmazások vizsgálata a nukleáris analitikában.

PF2/434b-02

Sugárzás és anyag kölcsönhatása

Töltött részecskék energiavesztése, hatótávolsága. Gamma-sugárzás áthatolása az anyagon. Detektorok: emulzió, szilárdtest-nyomdetektorok, ködkamra, GM-cső. Szcintillációs és félvezető spektrometria. Sugárvédelem és dozimetria. Természetes radioaktivitás és környezeti hatások. Szemléltetés az órákon. Kísérletek, mérési programok összeállítása. Szakköri foglalkozások tervezése. Tanulók önálló munkáját elősegítő oktatási anyagok készítése. Interneten megjelenő oktatási anyag készítése a sugárkárosodás és sugárvédelem szerepéről. Alkalmazások bemutatása és elemzése video-anyagok segítségével.

Témavezető: **Dr. Lovas István, Dr. Kovács László**

PF2/435-02

Csillagászati ismeretek a fizika tanításában (Magfizikai ismeretek alkalmazása)

1. Résztémák

1.1. Magfizikai folyamatok és csillagfejlődés

1.2. A fizika és a csillagászat kapcsolatának történeti bemutatása

2. Feladatok

2.1. A tanítandó anyag szakmai háttérének feldolgozása. Számítógépes szimulációk: (csillagfejlődés modellezése, a Hertzsprung-Russel diagram, magreakciók, nukleáris energia, a csillagok energiatermelése, a kémiai elemek keletkezése)

2.2. A csillagászati ismeretek jelenlegi tanításának vizsgálata. A csillagászat és a magfizika helye a teljes fizikatanításban, tantárgyi koncentráció

2.3. Korszerű csillagászati ismeretek tanításának lehetőségei és módszerei

2.4. A bővített csillagászati tananyag egyes részeinek részletes kidolgozása középiskolai szinten és tananyagjavaslat az összes többi szintre

- a gravitáció hatásai a Földön, a Naprendszerben, a galaxisok világában
- a Föld közvetlen környezetében megvalósuló mozgások (szabadesés, hajítások, ingamozgás Foucault-inga)
- mesterséges égitestek mozgása
- súlytalanság;
- a bolygók mozgása, fogyatkozások (nap- és holdfogyatkozás)
- a csillagfejlődés kezdetei
- a bolygók kialakulásának kezdetei.

2.5. A szemléltetés lehetőségei (bemutatók, csillagászati demonstrációs kísérletek, a világháló használata)

2.6. Multimédiás melléklet (CD-ROM) készítése és a használat ismertetése

2.7. Nemzetközi összehasonlítás végzése (francia és orosz)

2.8. A téma további feldolgozási, tanítási lehetőségei (országos oktatási kísérletek, felmérések szervezése, kiértékelése)

Témavezető: **Dr. Fülöp Zsolt**

PF2/436-06

Nukleáris asztrofizikai vizsgálatok



Célunk olyan atommagfizikai mérések tervezése, kivitelezése és kiértékelése, amelyek a csillagokban és szupernóváknál történő nukleoszintézis megértéséhez visznek közelebb. Az asztrofizikai modellszámítások egyik fontos bemenő adata a csillagkörnyezetben lejátszódó energia- és izotóptermlő folyamatok hatáskeresztmetszete. A nukleáris asztrofizika szempontjából fontos hatáskeresztmetszetek meghatározása azonban rendkívül nehéz, hiszen lassú izotóptermlés esetén az állandóságot éppen a magfolyamatok hatáskeresztmetszetének kis értéke biztosítja, robbanásszerű nukleoszintézis esetén a magas hőmérséklet miatt a hatáskeresztmetszet jóval nagyobb ugyan, azonban a reakciókban a stabilitás völgyétől távol eső, igen rövid (ms) felezési idejű izotópok vesznek részt, amelyek laboratóriumi körülmények között nehezen vizsgálhatók.

A fenti nehézségeket csak az utóbbi évtized során sikerült megoldani költséges technikai fejlesztések eredményeként. A drága berendezések használata kizárólag nemzetközi együttműködésben történhet, a vizsgálatokat csak néhány specializált laboratóriumban lehet elvégezni.

Ezek közé tartozik az elsősorban neutrínók detektálására létrehozott olaszországi Gran Sasso földalatti laboratórium, ahová egy kisenergiás (400 kV) gyorsítót is telepítettek, és amelyet a LUNA-2 együttműködés keretein belül nukleáris asztrofizikai mérésekre használunk.

Témavezető: **Dr. Fülöp Zsolt**

PF2/437-06

Egzotikus magfizikai vizsgálatok

Az atommagok szerkezetéről alkotott jelenlegi tudásunk javát, azt, hogy a protonok és a neutronok hogyan kapcsolódnak össze az erős nukleon-nukleon kölcsönhatás eredményeként, a (Z,N) sík igen kis foltjának viszonylag alacsony gerjesztési energiánál és spin értéknél történt tanulmányozásával szereztük meg. Az utóbbi évtizedben, a radioaktív ionnyalábok megteremtették a lehetőséget arra, hogy eltávolodjunk a stabilitási sávtól, és jobban bebarangoljuk a (Z,N) síkot. Az eredmények azt mutatják, hogy a kísérleti adatok értelmezésekor alkalmazott elméleti extrapolációk, amit a proton és neutronszám, az impulzuszómomentum vagy a gerjesztési energia egyenletes változtatásával tettünk meg kudarcot vallanak és ennek az oka nem egyszerűen rossz paraméterkészletek vagy túlegyszerősített közelítések használatában rejlik, hanem annál sokkal mélyebben keresendő.

A téma célja általánosságban az egzotikus atommagok szerkezetének minél jobb megismerése a (Z,N) sík egy-egy tartományában választ keresve a következő kérdésekre:

- Mekkora az atommag méretének felső határa? Ennek a megválaszolásához többek között tudnunk kell, hogy hol húzódnak a nukleon-elhullatási vonalak.
- Hogyan alakulnak az egyrészecke állapotok a stabilitási sávtól távol, és ennek kapcsán, hol vannak a mágikus számok az instabil magok tartományában?

Kísérleteinket a tokiói RIKEN kutatóintézet „radioaktív ionnyaláb gyárát” felhasználva végezzük. E berendezés új távlatokat nyit az egzotikus atommagok kutatása terén. A megnövekvő nyalábbintenzitás többek között lehetővé teszi, hogy egyre nagyobb tömegszámú eljünk a nukleon-elhullatási vonalakhoz és új izotópokat fedezzünk fel. Lehetőséget nyújt arra, hogy pontosabban meghatározzuk a már megfigyelt gerjesztett állapotokat és újakat tárjunk fel. Továbbá a nehezebb magok tartományában is tanulmányozhatjuk, hogy a már megismert egzotikus effektusok (pl. neutron-proton maganyag szétcsatolás), mennyire általános jellemzői az atommagoknak.



Kollektív és individuális mozgásformák kölcsönhatása forgó atommagokban

Az atommag forgása a kvantummechanikai forgás egy sajátos formájának vizsgálatát teszi lehetővé, ahol a forgásnak más mozgásformákkal való kölcsönhatása olyan jelenségeket produkál, amelyek más forgó kvantummechanikai rendszerekben nem lépnek fel. Ilyenek például a királis szimmetria forgás miatti sérülése, a forgási sávok lezáródása, vagy a dipólus forgási sávokban megfigyelhető anomális energia eltolódás, valamint szuper- és hiperdeformált magalakok kialakulása. Ezen jelenségek kutatása adja a tervezett kutatási téma egyik fő részét. A kvantummechanikai forgás feltétele hogy a forgó objektum alakja gömbszimmetrikustól eltérő (deformált) legyen. Deformált magalakok a héjlezáródásoktól távoli tartományokban alakulnak ki, melyek jól ismertek a stabilitási sáv közelében, viszont a stabilitási sávtól távol még nem. A forgásra képes atommagok ezen új tartományainak (melyekben új jelenségeket remélhetünk felfedezni) felkutatása jelenleg folyik többnyire radioaktív nyalábok használatával. Ilyen vizsgálatok adják a tervezett kutatási téma másik fő részét.

Kvantummechanikai nem-lokalitás kvantumtérelméleti módszerrel

A kvantummechanika egyik alaptulajdonsága, hogy a kvantummechanikai állapot nem lokális. Az újabb kísérleti eredmények azt mutatják, hogy az összefonódott állapotokban olyan korreláció van jelen, ami térszerűen elválasztott téridő-pontokban is megfigyelhető. Ugyanezt támasztja alá a közelmúltban elvégzett, Wheeler által javasolt utólagos választási interferencia-kísérletnek az eredménye is. Paradox helyzet alakult tehát ki a kvantummechanika és a speciális relativitás elmélete között, ugyanis az a látszat keletkezett, hogy a fénysebességnél gyorsabban is tud információ terjedni. A kvantummechanikai nem-lokalitás bizonyítására végzett kísérleteket általában a kvantummechanika keretében értelmezik és a relativisztikus megfontolásokat utólagosan, heurisztikus módon viszik bele az értelmezésbe.

A jelölt feladata az, hogy egyrészt tekintse át a kvantummechanika nem-lokalitására vonatkozóan végzett kísérletek eredményeit, másrészt dolgozza ki az egyszerű kvantumfizikai interferencia-kísérletek kvantumtérelméleti leírásának módszerét, továbbá mutassa meg, hogy a kvantummechanikai nem-lokalitás problémája ezen kísérletek következetesen relativisztikus értelmezése esetén is létező probléma.

A hidrogén tartalom és a C/H arány meghatározása neutronokkal, kiterjedt közegekben.

A Nemzetközi Atomenergia Ügynökség 1997-ben egy koordinált kutatási programot szervezett „Bulk Hydrogen Analysis using Neutrons” témában. A projekt tudományos célja a hidrogén tartalom és a C/H atomarány meghatározása ásványokban, agrár- és ipari termékekben, szén és olaj mintákban, valamint plasztik robbanó anyagokban. A DE Kísérleti Fizikai Tanszéke ennek keretében a következő témákkal foglalkozott, amelyeket a jövőben is folytatni kíván: 1) Hidrogén meghatározás termikus neutron reflexióval. 2) Hidrogén meghatározás epitermikus neutronok lelassulásával. 3) Hidrogén meghatározás kifolyási



neutron spektrum méréssel és MCNP számítással. 4) Hidrogén migrációjának vizsgálata szilárdtestekben.

Témavezető: **Dr. Csikai Gyula**

PF2/441-08

Megszökési neutron spektrumok és hatáskeresztmetszetek mérése.

A téma célja a radioaktív hulladékok gyorsítós átalakításához, a tervezés alatt álló spallációs neutronforrásokhoz és a fúziós reaktorokhoz, valamint a reakció modell számításokhoz új nukleáris adatok szolgáltatása. A neutron reakciók gerjesztési függvénye különösen a rövid felezési idejű végtermékhez vezető magátalakításokban, valamint a 8-12 MeV energiatartományban hiányosak és pontatlanok. Ezen vizsgálatokat lehetővé teszi az ATOMKI MGC-20 ciklotronjánál üzembe helyezett gyors csőposta, valamint az NE213 szcintillátorra alapozott neutronspektrometria. Az aktivációs hatáskeresztmetszet mérésekhez a módszer sok éve kidolgozásra került, de a rövid felezési időhöz vezető reakciók adatai rendkívül hiányosak. A neutron transzport kísérletek bizmut és ólom mintákon elkezdődtek $d+Be$ reakcióból eredő széles spektrumra, amelynek folytatását tervezzük.

Témavezető: **Dr. Schram Zsolt**

PF2/442-08

Nem-ábeli rácstérelméletek termodinamikája

A nagyenergiás nehézion ütközésekben kvark-gluon plazma kialakulása várható. Jelenleg az elméleti fizika egyik centrális kérdése ezen ütközések leírása, valamint a kvark-gluon plazma képződésének kimutatása. Nem-ábeli mértékelméletekben elsősorban a termikus egyensúlyban levő nagykanonikus sokaságra végzett számítások mutatták egy kvark felszabadító fázisátalakulás létezését véges hőmérsékleten. Ugyanakkor nyilvánvaló, hogy a nagykanonikus sokaság zérus barionsűrűséggel történő alkalmazása a probléma leegyszerűsítését jelenti. A véges sűrűséggel végzett számítások viszont elvileg sem egyszerűek, és velük kapcsolatban több probléma megoldásra vár. Kutatásunkban rácstérelméleti vizsgálatokat végzünk különböző mértékelméletekre egy olyan új módszerrel, melynél a szokásos kanonikus eloszlás helyett a nagy energiákon hatványfüggvényszerű viselkedést mutató Tsallis-eloszlást alkalmazzuk a szimulációban. Ez az újszerű megközelítés formálisan a hagyományos termikus egyensúlyi (exponenciális) valószínűségi eloszlás helyett egy Gamma eloszlás szerint fluktuáló hőmérséklet bevezetésével ekvivalens. Célunk a vizsgált rendszerek fázisszerkezetének feltérképezése ill. az állapotegyenletek meghatározása.

Témavezető: **Dr. Lovas Rezső**

PF2/443-08

Maghasadás fürge fragmentumokkal

A hasadás során az atommag folyadékcseppje a Colomb-taszítás hatására megnyúlik, a nyaka befűződik, majd a hasadványok szétpattannak. A neutronok kibocsátása a folyamat dinamikáját kevésbé befolyásolja, ezért eltekinthetünk tőle. A folyamatot félklasszikusan egy paraméter megváltozásaként írhatjuk le, amely lehet a két töredékmagot leíró átlagpotenciál közepének az s távolsága.

A rendszer teljes E energiájának mint az s függvényének $[E(s)]$ a kis s -ek tartományában minimuma van, egy nagyobb értéknél maximuma, majd még nagyobb értékeknél monoton csökken. Az $E(s)$ -t felfoghatjuk mint potenciális energiát, s vele az s változóra Schrödinger-egyenletet írhatunk föl. Ezt megoldva a gáton belül kötöttállapot-szerű állapotokat nyerünk, de



a gát véges mérete miatt a kötés nem tökéletes: az állapotok alagúthatással elbomolhatnak, vagyis a mag elhasad. Egy ilyen modellben a hasadó magállapotok élettartama jól megjósolható, és a gerjesztett állapotok fizikailag értelmes módon azonosíthatók a kísérletileg észlelt állapotokkal (pl. az Atomkiban talált híres hiperdeformált állapotokkal).

Sajnos azonban az $E(s)$ nem igazi potenciál, hiszen az s távolság nem fizikai mennyiség (observable) kvantummechanikai értelemben. Az $E(s)$ tartalmaz egy jó adag járulékot a nukleoni kinetikus energiából is, ami pozitív, s emiatt a realisztikus mag–mag potenciáloknál (amelyek nem s -tól, hanem a fragmentumok tömegközéppontjának r távolságától függenek) sokkal sekélyebbek. A sekély potenciálos modell a mély potenciábeli fürge mozgást lusta mozgással helyettesíti. Emiatt a sekély potenciálok két mag ütközésének leírására is tökéletlenek.

A munka célja a mély potenciálos és a sekély potenciálos modell összehasonlítása, és annak megértése, hogy minek köszönhető, hogy a sekély potenciálos modell – minden elvi hibája ellenére – működni látszik. A két potenciál közötti kapcsolat egy integráltranszformációval

fejezhető ki. Egy olyan modellben, amelyben a fragmentumok hullámfüggvénye harmonikus oszcillátoros egyrészecske-függvényekkel van kifejezve, a transzformáció egzaktul vagy közelítő módon végrehajtható. A mély potenciálos modellt maghasadásra tudomásom szerint még nem próbálták ki.

A jelölt legyen tisztában a kvantummechanika alapjaival, és mind analitikusan, mind numerikusan tudjon bánni kvantummechanikai formulákkal. Lehetősége van a szimbolikus programozás alkalmazásaira is.

Témavezető: **Dr. Raics Péter**

PF2/444-08

Atommagfizika oktatása a középiskolában

A téma kidolgozását középiskolai (vagy főiskolai) tanároknak hirdetjük meg különböző, választható résztémákban.

Cél: a magfizika alapvető jelenségeinek és alkalmazásainak oktatása, a tanulók számára reális kép adása a tudományterületről.

Módszer: elsősorban bemutatások, kísérletek beállítása, végzése; egyszerűbb számítási példák és feladatok kidolgozása; audio-vizuális és e-szemléltetés/tanítás, internetes oldal készítése.

Természetes és mesterséges radioaktivitás vizsgálata. Egyszerű detektorok használata.

Demonstrációk ködkamrával. Felezési idő mérése, felaktiválódás tanulmányozása.

Radioaktivitás a környezetben.

Sugárzás és anyag kölcsönhatása. Töltött-részecskék, neutronok és gamma-sugárzás kölcsönhatásai az anyaggal. Detektálás, spektrometria bemutatása, alkalmazásai. Ködkamra felhasználása alfa-spektrometriára. Dozimetria, sugárvédelem. Radon-probléma.

Atommagátalakulások és nukleáris energetikai jelentőségük. Bomlások és egyszerű folyamatok vizsgálata ködkamrával, GM-csővel, szcintillációs- és félvezető detektorokkal.

Nukleáris energiatermelés előnyeinek és hátrányainak bemutatása. Környezeti hatások.

Témavezető: **Dr. Molnár József**

PF2/445-08

A nukleáris medicinában és a magfizikában alkalmazott detektorok jeleinek digitális feldolgozásához kapcsolódó fejlesztések

Mind a klinikai PET kamerák megvalósításánál, mind a most épülő magfizikai detektorrendszerek (AGATA) esetében a detektorokat illetően napjainkban folyó



generációváltásban a szegmentált szcintillátor-blokk/Avalanche Photo Diode (APD) mátrixok és az ahhoz illesztett kiszajú töltésérzékeny előerősítők fejlesztése az egyik legnagyobb szakmai presztízst jelentő feladat. A világon neves, nukleáris elektronikában élenjáró laboratóriumok egész sora fordít erre figyelmet nem csekély anyagi áldozatot is vállalva az említett eszközök tökéletesítéséért. Ehhez a trendhez igazodva célul tűztük ki azt, hogy a DSP technikára építve kifejlesztünk egy olyan új generációs Front-End elektronikát, mely az detektorrendszerek jeleinek a feldolgozását végzi.

Témavezető: **Dr. Krasznahorkay Attila**

PF2/446-08

Egy könnyű semleges bozon keresése

Az utóbbi években nagyszámú publikáció foglalkozott azzal a meghökkentő lehetőséggel, hogy a kozmikus sötét anyag MeV tömegű új elemi részecskékből állhat, amiket magfizikai laborokban is vizsgálhatunk. A fenti részecskék kimutatására egy kompakt pozitron-elektron spektrométert tervezünk építeni, aminek nagy térszöge, jó energia és jó szögfelbontása lesz. A jelenleg rendelkezésünkre álló részecskefizikai detektorokkal, adatgyűjtő rendszerekkel és számítógépekkel a differenciális belső párkeltési valószínűségeket az irodalomban találhatóknál sokkal pontosabban tudjuk majd vizsgálni, így reális esélyt teremtünk a jelenség pontosabb vizsgálatára és az előrejelzett új részecske kimutatására.

Témavezető: **Dr. Kruppa András**

PF2/447-08

Szimbolikus és numerikus számítási módszerek háromtest rendszerek kvantummechanikai modelljében

Kvantummechanikai háromtest rendszerek ab initio leírása nagyon sok szimbolikus és numerikus számítást igényel. A sztochasztikus variációs módszer alkalmazása során célszerű a Hamilton-operátor mátrixelemeinek adott bázison történő szimbolikus kiszámítása. Erre a célra használható például a Mathematica programozási nyelv. A funkcionális és szabály alapú programozási technika segítségével célunk egy olyan általános programrendszer kifejlesztése amely hatékonyan használható a háromtest rendszerek ab initio leírásában valamint a klasztermodell keretében is. A kvantummechanikai szórás háromtest probléma elvi és numerikus megoldása (hosszú hatótávolságú potenciál esetén) még napjainkban is nehézségekbe ütközik. Célunk új közelítő módszer bevezetése és alkalmazása atom és magfizikai rendszerekre. A komplex skálázás révén az eredetileg önadjungált Hamilton-operátor nem önadjungáltá válik és ekkor a sorfejtésen alapuló módszerek valószínűleg konvergensek. A módszer részleteinek kidolgozása után további igen fontos feladat egy hatékony numerikus program elkészítése.

Témavezető: **Kunné dr. Sohler Dorottya**

PF2/448-09

Magszerkezeti vizsgálatok gamma-spektroszkópiai módszerekkel

Az atommagok gerjesztett állapotból alapállapotba többek között gamma-sugárzás kibocsátásával kerülnek vissza. A gamma-sugárzások jellemzőit, energiájukat, relatív intenzitásukat, multipolaritásukat illetve koincidencia kapcsolataikat, magfizikai kísérletek során kapott adatokból határozzuk meg gamma-spektroszkópiai módszerekkel. Ezen információk felhasználásával tudunk következtetni a gerjesztett állapot tulajdonságaira, vagyis



energiájára és kvantummechanikai jellemzőire (spinjére és paritására), majd a kapott eredmények alapján a vizsgált állapotok szerkezetére, konfigurációjára.

Jelen téma keretében a jelölt feladata egyrészt a stabilitási sáv közelében elhelyezkedő normál deformált atommagok igen kis hatáskeresztmetszettel előálló speciális mozgásformáihoz tartozó állapotok legerjesztődése során kibocsátott gamma-sugárzások vizsgálata. A tervezett kutatási téma másik része annak felderítése, hogy a részecske-elhullatási vonal közelében található, extrém proton/neutron aránnyal rendelkező atommagok gerjesztett állapotai hogyan állnak elő, milyen szerkezetűek. Ezt a legújabb generációs radioaktív nyalábok mellett végzett kísérletekben gyűjtött adatok feldolgozásával végezzük el. Mindkét feladat a mai magszerkezet kutatás legjobban tanulmányozott irányvonalai közé tartozik.

Témavezető: **Dr. Fülöp Zsolt**

PF2/449-10

Radioaktív atommagok élettartamának vizsgálata

A téma magába foglalja radioaktív izotópok felezési idejének nagy pontosságú meghatározását, mely adatok az asztrofizikai p-folyamat vizsgálatánál használt aktivációs módszer pontosságát növelik. Ugyanakkor ismert felezési idejű izotópok viselkedését is vizsgáljuk extrém körülmények között: fémbe implantálva, alacsony hőmérsékleten, ezzel ellenőrizve azon hipotéziseket, melyek szerint a felezési idő változik a külső környezet hatására.

Témavezető: **Dr. Molnár József**

PF2/450-10

Magfizikai, orvosi célú helyzetérzékeny detektorrendszerek és ezek digitális jelfeldolgozó elektronikájának fejlesztése

A nemzetközi együttműködésben végzett fejlesztések a DIAMANT töltött részecske detektorrendszer detektorainak és jelfeldolgozó elektronikájának korszerűsítését, valamint az új PARIS gamma-detektorrendszer kifejlesztését jelentik. Mindkét projektum kapcsolódik a GANIL-ban megvalósítás alatt álló SPIRAL-2 nagyáramú gyorsító komplexum mellett tervezett magfizikai kutatásokhoz, melyekben az EXOGAM2 és a PARIS gamma-detektorrendszerek üzembehelyezését tervezzük.

A magfizikai alkalmazások mellett, különböző helyzetérzékeny rendszerekkel is foglalkozunk, elsősorban új generációs orvosi és ipari képalkotó berendezések kifejlesztéséhez. Ezek a fejlesztések a félvezető-alapú fotodetektorok (Si fotoelektron-sokszorozók – SiPM, és lavina-fotodiódák – APD) alkalmazásának új lehetőségeit használják ki.

A doktorandusz feladata a detektorok prototípusainak és elektronikájuknak megépítése, bemérése. Továbbá a detektorrendszerek digitális jelfeldolgozáson alapuló elektronikájának a kifejlesztése és a programozható logikai áramkörökben (FPGA) implementált algoritmusok kidolgozása.

Témavezető: **Dr. Dombrádi Zsolt**

PF2/451-10

Magszerkezeti vizsgálatok radioaktív nyalábokon



Az elmúlt időszakban a magszerkezeti alap kutatásban meghatározóvá vált a radioaktív nyalábokon végzett kutatás. Új radioaktívnyalábos gyorsító központok épültek (pl SPIRAL Franciaországban, RIbeam Factory Japánban) illetve vannak építés alatt (FAIR Németországban, FRIB USA-ban). Ezek a berendezések lehetővé teszik eddig elérhetetlen magtartományok feltárását, új magfizikai jelenségek kimutatását.

A javasolt kutatási téma az 1:1 proton neutron aránytól lényegesen eltérő atommagok szerkezetének kutatását javasolja in-beam gamma spektroszkópai módszerekkel. A radioaktívnyaláb-gyárakban előállított ionokat egy céltárggyal ütköztetve hozunk létre magreakciót, és a reakcióból kilépő gamma sugárzások tulajdonságaiból következtetünk a lezajlott folyamatokra.

A kísérleteket a világ vezető laboratóriumaiban (RIKEN RIBF, Japán, GANIL SPIRAL, Franciaország, GSI/FAIR Németország) az adatok feldolgozása pedig itthon történik. A hallagatónak a kísérlet tervezésén, végzésén és az adatok feldolgozásán túl lehetősége van a feladathoz kapcsolódó szoftver- illetve detektorfejlesztésre is.

Témavezető: **Dr. Sailer Kornél, Dr. Nagy Sándor**

PF2/452-11

Nyílt kvantummechanikai rendszerek vizsgálata funkcionális renormálási csoporttal

A cél nem egyensúlyi, egyszerű, nyílt kvantummechanikai rendszerek kvantumtérelméleti módszerrel történő tárgyalása. Vizsgálható lehet állapotok koherens szuperpozíciójának környezeti hatás okozta dekoherenciája, fázisátalakulás vizsgálata a környezethez való csatolás, vagy a környezet hőmérsékletének változása hatására.

Számos olyan fontos, kísérletileg megvalósítható egyszerű kvantummechanikai rendszer van, amelyik jól modellezhető a kvantum Brown-mozgással: egy külső erő hatása alatt mozgó részecske csatolva van a környezetéhez. A környezet általában jól modellezhető Caldeira és Leggett nyomán végtelen sok független kvantumoszillátor akár zérus hőmérsékletű, akár véges hőmérsékletű rendszerével. A funkcionális renormálási csoport módszer alkalmas arra, hogy egyrészt kezelje a külső erő hatása alatt mozgó részecske nem perturbatív viselkedését (pl. anharmonikus oszcillátor esetén), másrészt hogy a környezethez történő erős csatolás esete is tárgyalható legyen. A felvázolt általános modell alkalmas általában arra, hogy a klasszikus és a kvantumfizika közti átmenetet vizsgáljuk. Ennek egyik eszköze, hogy tisztázzuk a kvantum- és a termikus fluktuációknak a dekoherenciára gyakorolt hatását. A fluktuációk szisztematikus eltávolítását a funkcionális renormálási csoport módszerrel végezzük el. A környezethez történő csatolás erősségének és a környezet hőmérsékletének függvényében a modellnek egy új, szimmetriasértett fázisa jelenik meg. Feltételezzük, hogy ebben a fázisban egy infravörös fixpont van, ahol a modell skálázási tulajdonságai megváltoznak. A fixpont lehetővé teszi, hogy a szingularitás közelében is meg tudjuk határozni a csatolások evolúcióját. Vizsgálni kívánjuk a modell fázisait, és a fázisokat jellemző kritikus exponenseket. Ehhez a hullámfüggvény-renormálás evolúcióját is figyelembe kell vennünk, de ez a renormálási csoport módszerrel konzisztens módon megtehető.

Témavezető: **Dr. Gyürky György, Dr. Elekes Zoltán**

PF2/453-11

A nehéz elemek szintézisével kapcsolatos magreakciók kísérleti vizsgálata

Az asztrofizikai p-folyamat a természetben található nehéz, protongazdag izotópok keletkezési folyamata, amely a jelenlegi elméletek szerint nagy tömegű csillagok fejlődésének végső fázisaiban, szupernóva-robbanások során játszódik le. A p-folyamat egyike az



elemszintézis legkevésbé ismert folyamatainak, a modellek nem képesek kellő pontossággal reprodukálni a p-izotópok tapasztalt gyakoriságát.

A probléma egyik oka a p-folyamatban használt magfizikai bemenő adatok nem megbízható volta. A p-folyamat modellekhez óriási magreakció-hálózat figyelembe vétele szükséges, a hálózatban szereplő reakciók hatáskeresztmetszeteit elméleti számításokból nyerik. A számított hatáskeresztmetszetelek kísérleti ellenőrzése kiemelt fontosságú a p-folyamat modellek pontosabbá tétele érdekében.

A Ph.D. téma keretében töltöttrészecske-indukált magreakciók (főként (α,γ) és (p,γ) reakciók) hatáskeresztmetszetének mérése a feladat a p-folyamatra jellemző tömegszám és energiatarományban. A méréseket elsősorban az ATOMKI gyorsítóival végezzük, de bizonyos esetekben nemzetközi együttműködések keretein belül külföldi intézetekben is végzünk méréseket.

Témavezető: **Dr. Elekes Zoltán**

PF2/454-13

Egzotikus atommagok kísérleti vizsgálata

Az atommagfizika élvonalába tartozik manapság a radioaktív ionnyalábokkal végzett kísérleti munka, melynek célja az atommagok szerkezetének tanulmányozása extrém körülmények között, amikor az atommagban a neutronok és protonok aránya jelentősen eltér a stabilitási völgyben megszokottól. A kutatási téma egyik célkitűzése a mágikus számok változásának illetve a neutron és proton maganyag korrelációjának vizsgálata ilyen egzotikus, instabil atommagokban. Azonban a radioaktív ionnyalábok intenzitása gyakran nagyon kicsi, ezért a mérésekből a hasznos információ kinyeréséhez sok műszert kell alkalmazni, a magreakcióban keletkező összes részecske és sugárzás detektálására kell törekedni. Ezért célunk az is, hogy kísérleteinkhez megfelelő detektálóberendezéseket hozzunk létre, mely a kutatási témának szintén részét képezi. Vizsgálatainkat nagy nemzetközi együttműködésekben végezzük a Japánban (RIKEN kutatóintézet), Németországban (GSI kutatóintézet) és Franciaországban (GANIL kutatóintézet).

Témavezető: **Dr. Gyürky György**

PF2/455-17

Asztrofizika jelentőségű sugárzásos befogási reakciók kísérleti vizsgálata

A kísérleti nukleáris asztrofizika célja olyan magreakciók vizsgálata, amelyek csillagok belsejében játszódnak le és hozzájárulnak a csillagok energiatermelési folyamataihoz vagy a világegyetemet felépítő kémiai elemek keletkezéséhez. Az Atomki nukleáris asztrofizikai kutatócsoportja a tudományág több részterületén is végez kutatásokat. Fő témáink a nehéz elemek szintézisének p-folyamatahoz kapcsolódó magreakciók vizsgálata illetve a hidrogénégés bizonyos kulcsreakcióinak tanulmányozása.

Az Atomki új tandem gyorsítója valamint az újonnan beszerzett detektorokkal kibővített gamma-detektor készlet jelentősen kibővíti a csoport kísérleti lehetőségeit a sugárzásos befogási magreakciók tanulmányozásában. A PhD téma keretében (p,γ) és (α,γ) reakciók hatáskeresztmetszetének mérése a feladat, a kísérletek megtervezésétől és elvégzésétől egészen az adatok kiértékeléséig. A méréseket elsősorban az Atomki tandem és ciklotron gyorsítóival végezzük, de bizonyos esetekben nemzetközi együttműködések keretein belül külföldi intézetekben is végzünk méréseket.

Témavezető: **Dr. Kiss Gábor Gyula**

PF2/456-17



A nehéz elemek és izotópjaik keletkezése robbanásos folyamatokban

A világegyetemben előforduló, vasnál nehezebb stabil izotópok jelentős része robbanásos asztrofizikai folyamatokban jön létre. Az asztrofizikai r folyamat során, a szupernóvák robbanásakor illetve neutroncsillagok összeolvadásakor, gyors neutronbefogások révén extrém neutron-gazdag magok jönnek létre melyek a fluxus megszűntével sorozatos béta bomlások révén építik fel a stabil izotópokat. A röntgen-kitörésnek nevezett, kettős rendszerekben játszódik le az asztrofizikai rp folyamat melynek során a proton elhullatási vonal közelében található izotópok jönnek létre, ezen magok β -bomlása a könnyű p magok gyakoriságához adhat járulékot. A modern radioaktív nyalábgyárakban – mint RIKEN Nishina Center – a robbanásos folyamatok elemszintézis-ösvényén található magok megfelelő intenzitással előállíthatóak és β -bomlásaik tulajdonságai (felezési idő, késleltetett részecskekibocsátás) tanulmányozhatóak, ezáltal az r illetve az rp folyamatok jobban megérthetőek. A jelölt feladata a detektorrendszerek adatainak kiértékelésével a létrehozott egzotikus magok felezési idejének, bomlás sémájának illetve a β -bomlás késleltetett részecskekibocsátási valószínűségének meghatározása.

A robbanásos folyamatok között külön kategóriát képvisel a γ folyamat melynek során nem részecske befogás, hanem fotobomlás, azaz (γ, n) , (γ, p) illetve (γ, α) reakciók, során jönnek létre a vasnál nehezebb proton-gazdag magok. Elméleti és kísérleti megfontolások miatt az inverz reakciók vizsgálata a célszerű; a hazai részecskegyorsítók ideális körülményeket biztosítanak a töltött részecskebefogások vizsgálatára illetve rugalmas szórás kísérletek kivitelezésére. A jelölt feladata a proton illetve alfa részecske befogási hatáskeresztmetszetek aktivációs technikával való mérése illetve a kísérletileg meghatározott rugalmas alfa részecske szögeloszlások segítségével az alfa részecske – mag optikai potenciál paramétereinek meghatározása lesz.



III. Szilárdtestfizika és anyagtudományi program

Témavezető: **Dr. Gulácsi Zsolt**

PF3/42-93

Erősen korrelált rendszerek variációs leírása

Napjaink szilárdtestfizikájának csúcskérdéseihez szorosan kapcsolódó rendszerek (magas kritikus hőmérséklettel rendelkező szupravezetők, nehéz-fermion rendszerek, tört számmal jellemzett kvantum Hall-effektust mutató rendszerek, fém izolátor átmenethez közel álló rendszerek, stb) mind erősen korreláltak. Ily módon azon modellek (Hubbard modell, kiterjesztett Hubbard-modell, periodikus Anderson-modell, t-J modell stb) nagyon jó közelítésekben vett jellemzése, melyek ezen rendszerek lényegét tükrözik, a mai szilárdtestfizika legégetőbb problémái. Az említett téma célkitűzései a felsorolt modelltípusokhoz tartozó rendszerek variációs jellemzésének mélyítése, gazdagítása és továbbfejlesztése.

Témavezető: **Dr. Mészáros Sándor**

PF3/43-93

A mágneses fluxus mozgása magas átmeneti hőmérsékletű szupravezető (MHS) anyagok határfelületein

Az MHS anyagokban a rövid szupravezető koherenciahossz miatt a mágneses örvényrács sajátos szerkezetet mutat. A makroszkopikus munkákban a határfelületek szerepe nagyon fontos a mágneses tulajdonságok szempontjából. A doktori téma tárgya az, hogyan írhatjuk le a mágneses örvényszerkezetet a szemcsehatárok mentén, ahol a szupravezető rendparaméter a rövid koherenciahossz miatt erősen csökken. Ez a jelenség egyúttal várhatóan azt is okozza, hogy a rendparaméter csökkenése miatt a mágneses örvények a határfelületek mentén könnyebben mozognak, jóllehet klasszikus szupravezetőkben a határfelületek rögzítő hatást gyakorolnak a mágneses örvényekre. A doktori téma feladata az is, hogy kísérleti módszereket dolgozzon ki a fenti jelenség megfigyelésére.

Témavezető: **Dr. Erdélyi Gábor**

PF3/45-93

Diffúziós folyamatok mechanizmusa oxidkerámiákban

Diffúziós folyamatok mechanizmusa oxidkerámiákban, így pl. alumíniumoxidban még nem ismert. Tracer és kölcsönös diffúziós vizsgálatok hozzásegíthetnek ezen anyagok bonyolult hibaszerkezetének megismeréséhez, hozzájárulhatnak a fém-kerámia kontaktusok tulajdonságainak javításához és megértéséhez.

Témavezető: **Dr. Langer Gábor**

PF3/49-93

Fémes multirétegek előállítása és tulajdonságainak vizsgálata



Fémes multirétegek előállítása magnetron porlasztással. Egydimenziós nanoszerkezetek fizikai tulajdonságainak (elektromos, mágneses paraméterek, kölcsönös diffúzió) vizsgálata.

Témavezető: **Dr. Gulácsi Zsolt**

PF3/413-95

Szupravezető tulajdonságok réteges felépítésű rendszerekben

A réteges felépítésű rendszerek szupravezető tulajdonságainak tanulmányozása szorosan kapcsolódik a magashőmérsékletű szupravezetők tárgyköréhez, és ugyanakkor a mesterségesen előállított réteges anyagok tanulmányozásában is fontos jelentőséggel bír [1]. Elsősorban azon specifikus tulajdonságokra szeretnénk koncentrálni a téma keretén belül, melyek különböző típusú, síkok közötti csatolásokhoz kapcsolódnak. Ilyen csatolás például a különböző síkokban elhelyezkedő részecskék közötti fellépő, rendszer által közvetített kölcsönhatás [2], vagy a síkok között fellépő pár-átugrások által előidézt csatolás [3]. Ezen hatások szerepét szeretnénk tanulmányozni a szupravezető tulajdonságok kiépítésében, a kritikus hőmérséklet kialakításában, illetve a kondenzált fázis tulajdonságainak meghatározásában. Elemezni szeretnénk továbbá a síkokban és síkok közt lejátszódó effektusok egymás közötti viszonyát.

Hivatkozások:

[1] Physica C235-240, Part 1-3/Dec. 1994, tartalmazván a július 1994-ben Grenoble-ban bemutatott magashőmérsékletű szupravezetőkre vonatkozó Konferencia anyagát.

[2] Zs. Gulácsi, M. Gulácsi: Phys. Rev B37, 2247(1988); Phys. Rev. B40, 708(1989); Phys. Rev. B42, 3981(1990).

[3] W. C. Wu. A. Griffin: Phys. Rev. Lett,74, 158(1995).

Témavezető: **Dr. Beke Dezső**

PF3/414b-95

Metastabil nanokristályos ötvözetek előállítása golyós malomban

A golyós malom a metastabil nanokristályos anyagok előállításának igen hatékony eszköze. A cél új, érdekes fizikai tulajdonságú intermetallikus ötvözetek és kiterjesztett szilárd oldatok előállítása.

Témavezető: **Dr. Vad Kálmán**

PF3/415-95

Szupravezető vékonyfilmek mágneses fluxus dinamikájának vizsgálata

A klasszikus szupravezetők felhasználási területét két csoportra oszthatjuk: szupravezető mágnessel létrehozott erős mágneses terek alkalmazási területére és a gyengeáramú szupravezetésen alapuló szupravezető műszerek alkalmazási területére. Hasonló csoportosítás várható az új típusú szupravezetés esetében is. Ahhoz azonban, hogy alkalmazni tudjuk az MHS anyagokat a mágnes-technikában és a szupravezető elektronikában, ismerni kell az áramvezetési mechanizmust, a kritikus áramot meghatározó tényezőket, a mágneses tér szupravezetőn belüli viselkedését, a fluxusmozgások mechanizmusát, stb. Ezért az MHS anyagok makroszkopikus elektromágneses tulajdonságainak vizsgálata fontos alkalmazási szempontból. De, fontos alapkutatói szempontból is, mivel a magas átmeneti hőmérsékletű szupravezetést létrehozó mechanizmust még mindig nem ismerjük, továbbá a réteges



szerkezet és a rövid koherenciahossz miatt a mágneses örvényszerkezetben is új jelenségek váltak ismertté.

A téma keretében a KLTE és ATOMKI által 1994-ben üzembe állított mágneses párologtatóval készített szupravezető vékonyfilmek elektromágneses tulajdonságainak a meghatározását szeretném elvégezni. Ez magában foglalja a film mágneses és transzport tulajdonságainak a mérését mind időben állandó mágneses térben, mind nagyfrekvenciában változó elektromágneses térben.

Témavezető: **Dr. Kövér László**

PF3/416-95

Kémiai és szilárdtest-effektusok Auger átmenetekben

(Ld. PF1/420-95)

Témavezető: **Dr. Gulácsi Zsolt**

PF3/417-96

Sokrészecskés rendszereket érintő egzakt megoldások

Az utóbbi periódusban [1], olyan módszer bontakozik ki, mely a $D > 1$ dimenziós sokrészecskés rendszerek egzakt ellenzését teszi lehetővé, lényegi információkat szolgáltatván a modell-leírások eredményeiről, pontosságáról és helyességéről. Tudvalevő, hogy az egzakt eredmények területén, eddig, csupán a $D = 1$ dimenziós kvantummechanikai rendszerek voltak igazán hozzáférhetőek s ezért, a kialakulóban lévő eljárás az elméleti leírás szempontjából fontos előrelépést jelent majd. Az alkalmazási területek különösképpen érintik az elméleti szilárdtestfizika lényegi területeit, szervesen kapcsolódnak az erősen korrelált rendszerek (pl. magashőmérsékletű szupravezetők, nehéz-fermionos rendszerek, fém-szigetelő átmenet, kvantum-Hall effektus) jellemzéséhez, továbbá itineráns és lokalizált rendszerek kiértékeléséhez.

Az új módszer lényege abban áll, hogy a rendszer alapállapotának kiértékelésekor rigorózus matematikai eljárások segítségével, az alapállapot-energiára vonatkozólag egzakt alsó és felső korlátot szab, a megfelelő sajátfüggvények meghatározásával együtt. A két korlát egyenlővé tétele a paramétertér bizonyos területein egzakt megoldást szolgáltat. A levezetett információk olyan tartományokat érintenek amelyek eddig vagy csak gyenge minőség-közelítő módszerekkel, vagy egyáltalán nem voltak hozzáférhetőek.

Irodalom:

1.) J. de Bor, S. Schadsehneider, Phys. Rev. Lett. 75(1995)4298. A. Korepin et al., Phys. Rev. Lett. 74(1995)789.

Témavezető: **Dr Beke Dezső**

PF3/421-97

Nanokristályos anyagok előállítása és mágneses tulajdonságai

A golyós malom a metastabil nanokristályos anyagok előállításának igen hatékony eszköze. A cél új, érdekes fizikai tulajdonságú intermetallikus ötvözetek és kiterjedt szilárd oldatok előállítása, mágneses tulajdonságainak vizsgálata

Témavezető: **Dr Erdélyi Gábor**

PF3/422-97



Szemcsehatár-diffúzió vizsgálata nanoszerkezetű anyagokban

Az elmúlt évtizedben a nanokristályos anyagok kutatása, fejlesztése és technológiai alkalmazása az anyagtudomány és technológia egyik fontos, gyorsan növekvő részterületévé vált. Az előállított anyagok különleges tulajdonságaikat annak köszönhetik, hogy a belső határfelületeken, szemcsehatárokon elhelyezkedő atomok száma összemérhető a szemcsék belsejében elhelyezkedő atomok számával. Az alkalmazások szempontjából kiemelkedő jelentőségű az ilyen anyagokban végbemenő, szemcsehatárok menti anyagtranszport tanulmányozása.

A fenti folyamatot mágneses porlasztással előállított, nanokristályos szerkezetű vékony filmekben kívánjuk vizsgálni az ún. "first appearance" technika segítségével. Az eljárás lényege, hogy meghatározzuk azt az időtartamot, amely ahhoz szükséges, hogy a film egyik felületéről induló atomok a szemcsehatárok mentén diffundálva megjelenjenek a film másik, átellenes felületén. Az atomok detektálása felületanalitikai módszerekkel (AES, ESCA, esetleg SIMS) történik. A hagyományos diffúziós módszerek a nanokristályos anyagok vizsgálatánál nem jöhetnek szóba, mivel mérhető koncentrációprofil kialakításához olyan kísérleti körülmények kellenének (pl. magas diffúziós hőkezelési hőmérséklet), amelyek esetleg a nanostruktúra széteséséhez vezetnének.

Témavezető: **Dr. Gulácsi Zolt**

PF3/423-97

A periodikus Anderson modell elméleti vizsgálata.

Az erősen korrelált rendszerek egyik alapmodellje a periodikus Anderson modell, mely a sávon belül nemkölcönható töltéshordozó rendszer és a periodikusan elhelyezkedő ráccsomópontokhoz kötött és Hubbard kölcsönhatási taggal jellemzett lokalizált nívókon tartózkodó elektronok, hibridizációs tagon keresztüli egymásra hatását tanulmányozza. Pillanatnyi ismereteink szerint a modell a nehézfermionos sokrészecskés rendszerek leírásának egyik legalkalmasabb módját képezi. Mindannak ellenére hogy a modell kulcsszerepet tölt be a napjaink szilárdtestfizikájában, a többi lényegi alapmodell nagy hányadától eltérően, egzakt megoldása még $d = 1$ dimenzióban sem ismert, továbbá nagyobb dimenziókban vett viselkedésének és jellemzőinek paraméterei majdnem teljes egészében a nyitott kérdések kategóriájába esnek. A témakör fejlődését csoportunk régóta szem előtt tartja, a modell leírásában fontos saját eredményei is vannak (Zs. Gulácsi, R. Strack, D. Vollhardt: Phys.Rev. **B47** (1993) 8594.), és az időközben levezetett új tudományos eredmények felhasználásával a modell elemzését folytatni szeretnénk. A célkitűzés: nagyon jóminőségű, lehetőleg közelítésmentes eredmények levezetése a $d \geq 1$ dimenziós periodikus Anderson modellre vonatkozólag, olyan eredményekét, melyek a rendszer fizikai viselkedését kellő minőségben pontosítják. Kiindulópontként a Strack és Vollhardt (Phys. Rev. Lett. **70** (1994) 2637.) által javasolt eljárást választjuk, mely dimenziótól független módon egzakt alsó és felső határt szab az alapállapot energiának, majd az így kapott értékeket a paraméterterben egymásba tolja. A módszer továbbfejlesztési lehetőségei is az érdeklődés központjába állnak.

Témavezető: **Dr. Gulácsi Zolt**

PF3/424-97

Rendezett fázisok síkos felépítésű rendszerekben

A síkos felépítésű rendszerek érdekes átmenetet képeznek a két dimenziós illetve három dimenziós rendszerek között. Síkokon belül a kétdimenziós jelleg dominál erős elvi



megszorításaival a hosszútávú térbeli rendezettséggel jellemzett rendezett fázisokkal szemben. Ezzel ellentétben, maga a síkos felépítésű rendszer az egymásra helyezett és egymáshoz kölcsönhatások révén kapcsolt síkjaival már háromdimenziós testet épít fel, mely (a dimenzionalitás szempontjából) restriktó-mentes a rendezett fázisok megjelenése szempontjából, ezek fellépését teljesen más eredetű fizikai paraméterek határozzák meg. A két rendszertípus közötti átmenet határán rendkívül érdekes jelenségek játszódnak le melyek fizikai kiértékelése napjaink szilárdtestfizikájának egyik lényegi tárgykörét alkotják (a magashőmérsékletű szupravezetők például szintén ebbe a kategóriába tartoznak). A síkok közötti csatolások változtatásával a síkos felépítésű rendszer modell eredményeit mindkét említett dimenzió irányába eltolni lehet, lehetőséget nyitva arra, hogy a két véglet közötti átmenet jellemzőit elemezni tudjunk. Ezen témakör kérdéseivel szeretnénk foglalkozni, főképp a kondenzált fázisok jellemzése szempontjából. A tanulmányozás során nemcsak szupravezető, hanem mágneses és töltés, illetve spin sűrűség jellegű rendezettségi formák megjelenési körülményeit is elemezni szeretnénk. A csoport adott területen vett jártassága megvan (M. Gulácsi, Zs. Gulácsi: Phys. Rev. **B42** (1990) 3981.; Zs. Gulácsi, M. Gulácsi, B. Jankó: Phys. Rev. **B47** (1993) 4168.). A témához vett hozzáállás kiindulópontját a Strack és Vollhardt által kifejlesztett (Phys. Rev. Lett. **70**, (1994) 2637.) közelítésmentes módszer alkotja majd, mely továbbfejlesztése szintén célkitűzésünk.

Témavezető: **Dr. Vad Kálmán**

PF3/425-97

Relaxációs jelenségek mágneses struktúrákban

Mágneses struktúrákban kialakuló metastabil állapotokra jellemző, hogy különböző relaxációs folyamatok révén tart egy alacsonyabb energiájú állapotba. A relaxáció legegyszerűbben a sztatikus mágneses momentum időbeli változásának a mérésével követhető. Külön vizsgálat tárgyát képezi a mágneses szerkezetben bekövetkező gyors változások megfigyelése, ill. az időben elhúzódó lassú relaxációs folyamatok tanulmányozása. A meglévő modellek érvényessége jól tanulmányozható a rendelkezésünkre álló rendszerekben: a szupravezetőkben kialakuló mágneses örvényszerkezetben és a nanokristályos mágneses anyagokban kialakuló szuperparamágneses rendszerben. A jelölt feladata lesz ezen anyagokban fellépő relaxációs jelenségek kísérleti vizsgálata és a modern elméletekkel való összevetése.

A vizsgálatokhoz szükséges kísérleti eszközök (különböző típusú magnetométerek, elektromos transzport mérésekhez szükséges eszközök, mágneses ötvözetek, szupravezető anyagok) rendelkezésre állnak. A mágneses ötvözetek vizsgálatát a KLTE Szilárdtestfizikai Tanszékével együttműködésben kívánjuk elvégezni.

Témavezető: **Dr. Szabó István**

PF3/427-98

Nanostruktúrált anyagok pásztázó próba mikroszkópos vizsgálata

Nem mágneses mátrixba ágyazott mágneses részecskék, mágneses multirétegek, vékonyréteg struktúrák és szigetes filmek tanulmányozása. A film szerkezetének ill. doményszerkezetének jellemzése mágneses ill. atomi erő mikroszkópiás módszerekkel. A kutatások elsődleges célja a mágneses részecskék közti csatolás vizsgálata.



Martenzites átalakulás alakmemória ötvözetekben

A martenzites átalakulás és az alakmemória effektus a modern fizikai fémtan legfontosabb problémái között szerepel. A transzformáció jellemző paraméterei erősen függenek az anyag feszültségi állapotától és mikroszerkezetétől. Cél a transzformációs tulajdonságok fenti paraméterektől való függésének vizsgálata kísérleti módszerekkel, különböző (Ti-Ni, Cu-Zn-Al) alakmemória ötvözetekben.

Szemcsehatármenti diffúzió és szegregáció intermetallikus vegyületekben

A szemcsehatárok menti transzport vizsgálata fontos ismeretekkel szolgálhat az ötvözőatomok és a határok kémiai kölcsönhatásáról és a szegregációs folyamatokról.

A téma keretében a Ni transzport vizsgálandó elsősorban a gyakorlati szempontból is fontos Ni₃Al vegyületben. A rendelkezésre álló tracer módszer alkalmazásával kiterjesztendők az eddigi vizsgálatok az ún. C-kinetikai tartományra, ebben az esetben remélhetőek ugyanis közvetlen ismeretek a szemcsehatár menti transzportról és szegregációról. A folyamat nyomásfüggésének vizsgálatából nyerhető aktiválási térfogat mérésével érdemi információk kaphatók a szemcsehatárok menti diffúzió elemi mechanizmusáról, u.i. különböző mechanizmusokhoz lényegesen eltérő aktiválási térfogat tartozik.

A téma műveléséhez szükséges technika (megfelelő mélységi felbontású tracer módszer, magasnyomású berendezés, stb.) a tanszéken rendelkezésre áll.

Diffúziós vizsgálatok intermetallidokban

A korszerű anyagok egyik fontos csoportját az intermetallikus ötvözetek alkotják. Ennek ellenére nagyon kevés vizsgálat irányult eddig a diffúziós jellemzők tanulmányozására ezekben az anyagokban [1]. A téma tudományos érdekességén kívül - mint amilyenek pl. a diffúzió erősen korrelált jellegéből eredő alapvető problémák [2] - a diffúziós adatok ismerete fontos lenne gyakorlati problémák - mint a magashőmérsékleti kúszás - megoldásához is.

A kutatómunka célja egy adott anyagcsalád lehető legteljesebb jellemzése tracer diffúziós, kölcsönös diffúziós mérési módszerekkel vagy elméleti módszerekkel. A Szilárdtest Fizika Tanszéken nagy múltra tekintenek vissza a diffúziós kutatások mindhárom módszerrel [3,4,5]. Ma már rendelkezünk a mintakészítéshez (Ar ívolvasztó kemence), a hőkezeléshez (vákuumkemencék), és a kiértékeléshez (mikropolírozó, analitikus pásztázó és transzmissziós elektronmikroszkópia) szükséges berendezésekkel is.

[1] Landolt-Börnstein 22. (Ed. H. Mehrer): Diffusion in Solid Metals and Alloys.



- [2] I. A. Szabó, M. Koiwa, S. Ishioka: Phil. Mag. **A63** (1991) 1137.
[3] Defect and Diffusion Monograph Series No. 7. (1989) DIMETA-82 (Eds.: F. J. Kedves and D. L. Beke)
[4] Defect and Diffusion Forum. Vol. 66-69 (1989) DIMETA-89 (Eds.: F. J. Kedves and D. L. Beke)
[5] I. A. Szabó: Defect and Diffusion Forum. Vol. 143-147 (1997) 327.

Témavezető: **Dr. Gulácsi Zsolt**

PF3/431-99

A t - J modell elméleti vizsgálata

Erősen korrelált sokrészecskés rendszerek leírásában fontos szerepet játszik a $t - J$ modell. A rendszer fermionikus sokrészecskés rendszer, mely Hamilton operátora a kinetikus energia mellett egy Heisenberg típusú kölcsönhatási tagot is tartalmaz a szomszédos csomóponton pillanatnyilag elhelyezkedő itineráns elektronok között. A modell kiinduló változata a Hubbard modellből levezethető egy unitér transzformáció segítségével az erős kölcsönhatásos határesetben, az eredő kis csatolási állandókkal rendelkező tagok elhanyagolása mellett. A $t - J$ modell azért került az utóbbi időben előtérbe, mert úgy a magasabb hőmérsékletű szupravezetők, mint a nehézfermionos rendszerek esetében erős spin-fluktuációs mechanizmuson alapuló kölcsönhatás fennállását tételezik fel a részecskék között, amely alaptulajdonságainak a tanulmányozása ésszerűnek látszik a szóban forgó modell keretei között.

A $t - J$ modell az utóbbi évek fejleményei alapján a szakirodalomban rendkívül tanulmányozott rendszer. Pontos eredmények viszonylatában azonban csupán az egydimenziós változatának jellemzésében történtek komolyabb előrelépések. A célkitűzésünk az, hogy az ismertett modell pontos elemzését kettő és három dimenziós rendszerekre is kiterjesszük, az alapállapot és gerjesztett állapotainak értékelése szempontjából, legalább is bizonyos fázisdiagram tartományokra. Az alkalmazásra kerülő módszer a pozitív szemidefinit operátorokra való felbontáson alapszik [1] mely az alapállapot tulajdonságainak jellemzésére a paramétertartomány bizonyos pontjaiban alkalmazható. Ebből kiindulva alacsonykoncentrációs határeseteket is vizsgálni fogunk, amelyek elemzését a gerjesztett állapotokra is kiterjesztjük majd.

- [1] Zs. Gulácsi: Bull. Amer. Phys. Soc. **B43**, 200, (1998).

Témavezető: **Dr. Gulácsi Zsolt**

PF3/432-99

Rácsmodellek alacsonykoncentrációs határesetének tanulmányozása

Erősen korrelált sokrészecskés és fermionikus rendszerek leírásában fontos szerepet játszó modellekre, főként a Hubbard modellre, fogunk koncentrálni két térdimenzióban. Kezdetben kis rendszerek kerülnek előtérben amelyeken levezetett eredményeket tetszőleges nagy rácsra általánosítani szeretnénk. A cél az, hogy kevés részecskeszám mellett kialakuló alapállapotok és gerjesztett állapotok rejtett szimmetriáit vizsgáljuk lehetőleg közelítésmentes módon. Tudományos szempontból erre azért van szükség hogy a kétdimenziós sokrészecskés és kvantummechanikai rendszerek pontos megoldásaihoz vezető úthoz kapcsolódóan potenciálisan új információkat vezessünk le és ezeket a rendszer további jellemzésében alkalmazzuk. A témakör a sokrészecskés fermionikus rendszerek kiskoncentrációs határesetben vett kvantumfolyadék viselkedésének elbírálása szempontjából is rendkívül



aktuális és a kvázi-kétdimenziós rendszerekben fellépő kondenzátumok (pl. magas hőmérsékletű szupravezetők) elvi megértésének fontos lépését jelenti.

A témakör tudományos publikációs háttere nagyon nagy, de rendkívül szegényes. A 2D Hubbard modell esetében például a 2-részecske alapállapotú hullámfüggvény ismert explicit módon csupán [1], mindannak ellenére, hogy a kétrészecske energiaspektrumot megadó kifejezés rendelkezésre áll [2]. Az elemzés napiszinten az érdeklődés központjába áll [3] és a kétdimenziós kvantumkondenzátumok alaptulajdonságaihoz közvetlenül kapcsolódik [4].

- [1] L. Chen, c. Mei: Phys. Rev. **B39**, 9006, (1989).
- [2] D. C. Mattis: Rev. Mod. Phys. **58**, 361, (1986).
- [3] O. Tjemberg: Jour. Math. Phys. **39**, 6416, (1998).
- [4] A. C. Cosentini et al. Phys. Rev. **B58**, R14685 (1998).

Témavezető: **Dr. Langer Gábor és Dr. Csík Attila**

PF3/433-99

Multirétegek termikus stabilitásának vizsgálata

A nanoméretű, amorf és kristályos multirétegek iránt egyre szélesebb érdeklődés mutatkozik nemcsak az alap kutatás hanem az ipari alkalmazások oldaláról is. Az okok abban keresendők, hogy ezek a multirétegek legtöbb esetben különleges mágneses, elektromos, mechanikai és optikai tulajdonsággal rendelkeznek. Hosszabb idő elteltével, vagy hőterhelés hatására a legtöbb multiréteg szerkezete morfológiai változásokon megy keresztül, amely általában együtt jár az említett speciális tulajdonságok megszűnésével. Emiatt a multirétegek termikus stabilitásának kutatása, valamint a szerkezeti változásokat befolyásoló tényezők megismerése rendkívül fontos a rétegrendszerek élettartamának előrevetítéséhez.

Témavezető: **Dr. Kökényesi Sándor**

PF3/436-02

Fotostimulált folyamatok félvezető nanostruktúrákban

A fényérzékeny kalkogenidekben ismert fotostimulált szerkezeti változásokat és az amorf rétegek optikai, elektromos paramétereire gyakorolt hatásukat olyan réteges nanostruktúrákban tanulmányozzuk, melyekben a rétegek összetétele, technológiája, vastagsága, interdiffúziója lényegesen kihat az említett és más paraméterek változásainak mechanizmusára, nagyságára. Ebből következhet az adott anyagok optikai adattárolásra, optoelektronikai elemek előállítására való alkalmassága, illetve a más amorf félvezetőkből készült nanostruktúrák vizsgálatainak módszertani, illetve alap- vagy alkalmazott kutatási megalapozása.

Témavezető: **Dr. Kökényesi Sándor**

PF3/437-02

Félvezető nanokompozitok méretkorlátozott tulajdonságai

Fényérzékeny kalkogenidalapú vegyület-félvezető nanokristályok optikai, elektromos és más tulajdonságait vizsgáljuk a szemcsék összetétele, mérete valamint a mátrix (félvezető vagy szigetelő üveg, amorf réteg) összetétele, technológiája függvényében, különös tekintettel a lézerefénnyel stimulált változásokra, melyek alkalmazhatók az optikai jelek feldolgozásában.



Témavezető: **Dr. Kökényesi Sándor**

PF3/438-02

Amorf anyagok sugárzással stimulált változása és alkalmazása az optoelektronikában

Elektromágneses sugárzás és gyorsított részecskék (elektronok, protonok, neutronok, ionok) hatását vizsgáljuk olyan széles tiltotsávú amorf félvezető és szigetelő anyagok, vékony rétegek szerkezetére, optikai és mechanikai paramétereire, valamint azok irányított változásainak mechanizmusára, melyek optikai elemek, integrált optikai szerkezetek előállítására alkalmazhatók.

Témavezető: **Dr. Kun Ferenc**

PF3/440-03

Magneto- és electrorheológiai folyadékok nemegyensúlyi folyamatainak vizsgálata

A magnetorheológiai (MR) folyadékok általában egy nemmágneses viszkózus folyadékban szuszpendált mikrométer méretű részecskékből állnak, amelyek permanens mágneses dipólmomentummal rendelkeznek. Az elektrorheológiai (ER) folyadékok hasonló összetételűek, azzal a különbséggel, hogy a passzív folyadékban szuszpendált részecskék elektromos dipólmomentumot csak egy külső elektrosztatikus térben fellépő indukció révén nyernek.

MR folyadékokban külső mágneses tér nélkül, a dipól-dipól kölcsönhatás és a részecskék Brown-mozgásának összjátéka eredményeként a részecskék aggregálnak és komplex struktúrákat építenek fel. Ilyenek például a dipól lánc, gyűrű, labirintusszerű, fraktál és kompakt objektumok. Külső mágneses tér jelenlétében viszont a részecskék a tér irányával párhuzamos láncokat alkotnak, majd a láncok nagyjából egyenközűen elhelyezkedő oszlopokba rendeződnek. Hasonló struktúra kialakulás ER folyadékokban csak külső tér jelenlétében figyelhető meg. Mind az ER és MR folyadékok rendkívüli technológiai jelentőségűek, mert a részecskék formálta struktúrák gyökeresen megváltoztatják a kolloid rheológiai és optikai tulajdonságait, s lehetőségünk van arra, hogy a kolloid ezen jellemzőit a külső hajtó térrel kontrolláljuk. Ezért ezeket a kolloidokat 'okos folyadékoknak' is nevezik.

A rheológiai folyadékok lehetővé teszik kétdimenziós kolloidkristályok tanulmányozását is. Permanens dipólmomentummal rendelkező részecskéket viszkózus folyadék felszínére helyezve külső mágneses térben kétdimenziós kolloid kristályok állíthatók elő. A tér irányának megfelelő elforgatásával sikerült generálni az összes síkbeli kristálytípust.

A doktori téma keretében a magneto- és elektrorheológiai folyadékokban fellépő struktúra képződéssel járó folyamatok elméleti vizsgálatát kell végezni szoros együttműködésben kísérleti csoportokkal. A kutatómunka magában foglalja az aggregációs kinetika és a klaszter-klaszter aggregációs folyamat vizsgálatát, a kolloid rheológiai és optikai tulajdonságaira való hatásuk elemzését, továbbá a kétdimenziós kolloidkristályok létrejöttének, stabilitási tulajdonságaiknak és olvadásuknak a tanulmányozását.

Témavezető: **Dr. Beke Dezső**

PF3/442-05

Félvezető nanostruktúrák vizsgálata



Félvezető (elsősorban amorf kalkonenid alapú) vékony filmek és multirétegek előállítására, szerkezeti stabilitásának (diffúzió, illetve fényindukált morfológiai változások) és optikai tulajdonságainak vizsgálata.

Témavezető: **Dr. Beke Dezső**

PF3/443-05

Nanodiffúzió

Nanoskálájú diffúziós folyamatok szimulációs és kísérleti vizsgálata vékony filmekben és multirétegekben. Határfelület eltolódások és élesedésük vizsgálata nanoskálán.

Témavezető: **Dr. Kun Ferenc**

PF3/444-06

Szilárdtestek törésének és fragmentációjának vizsgálata

A rendezetlen mikroszkópikus tulajdonságokkal rendelkező anyagok külső terhelés alatt bekövetkező törése nagyon fontos tudományos és technológiai probléma, amelynek elméleti leírása a statisztikus fizika és a számítógépes fizika számára is tartogat kihívásokat. Általános tapasztalat, hogy a rendezetlen mikroszkópikus tulajdonságokkal rendelkező szilárdtestek külső terhelés alatt, egy meghatározott kritikus terhelés értéknél elvesztik integritásukat és két vagy több darabra törnek. A törés folyamata és eredménye, a test jellemzői mellett, erősen függ a terhelés sebességétől is. Lassan növekvő terhelés esetén a szilárdtest tipikusan két, közel azonos méretű darabra esik szét (*kvázisztatikus törés*), viszont ha nagy energiát közlünk egy testtel rövid idő alatt, akkor az nagyon sok apró darabra hullik (*fragmentáció*). A dinamikus törés jelensége átmenetet képez a kvázisztatikus törés és a fragmentáció között. *Dinamikus törés* akkor jön létre, ha egy testtel rövid idő alatt nagymennyiségű energiát közlünk, de a határfeltételek biztosítják, hogy egyetlen repedés keletkezik, amely nagy sebességgel terjed.

A doktori munka célja rendezetlen mikro-tulajdonságokkal rendelkező szilárdtestek törésének és fragmentációjának vizsgálata. A kutatómunka elsősorban elméleti jellegű, de az elméleti vizsgálatokat kísérleti csoportokkal szoros együttműködésben tervezzük. A jelölt munkájának részét képezi kísérleti eredmények feldolgozása, illetve részvétel a kísérletek tervezésében és kivitelezésében. A törés és fragmentáció jelenségének elméleti vizsgálata számos olyan problémát vet fel, amelyeket egzakt, analitikus módszerekkel nem lehet kezelni, így az elméleti megközelítések jelentős része számítógépes szimulációra épül. A szimulációk során mind determinisztikus (molekuláris dinamika), mind sztochasztikus (Monte Carlo) módszereket is felhasználunk.

Témavezető: **Dr. Szabó István**

PF3/445-07

Mágneses zajok anyagtudományi alkalmazásai

Közismert a Barkhausen-zajanalízis, amelyet sikeresen használtak anyagokban levő feszültségek vizsgálatára (vasúti sín, stb)

Újabban léteznek mágneses alakmemória ötvözetek és ezekben az alakváltozás során mágneses zajok keletkeznek. A jelölt feladata ezen jelenségek vizsgálata lenne.



Témavezető: **Dr. Erdélyi Gábor**

PF3/447-08

Diffúziós jelenségek amorf és kristályos rendszerekben

Két különböző rendszerben vizsgálunk diffúziós, szegregációs folyamatokat: Si, SiGe kristályos és amorf rendszerekben, valamint üvegekben. Amorf és polikristályos félvezető rendszerekben néhány, a technikában is szerepet játszó ötvöző (pl. Sb) máig nem vizsgált diffúziós paramétereit kívánjuk meghatározni. Monokristályos félvezető szerkezetekben azt tanulmányozzuk, hogyan befolyásolják az atomok mozgását, szegregációját a félvezető struktúrákban kialakított mechanikai feszültségek, valamint a külső nyomás. Az iparban is használt üvegekben a vizsgálat tárgya az, hogyan mozognak azon adalékanyagok atomjai, amelyek a technológia vagy a használat során kerülnek a felületre. További tisztázandó, fontos kérdés, hogy milyen diffúziós barrierékkal méréselkelhető a fenti szennyezők beépülése. Az utóbbi témakör az energiatakarékos izzók technológiájában használt higany mennyiség csökkentésével kapcsolatos. A fenti diffúziós vizsgálatokat SNMS technikával végezzük.

Témavezető: **Dr. Beke Dezső**

PF3/448-08

Nano anyagok: Fémes és polimer alakmemória anyagok vizsgálata

Témavezető: **Dr. Szabó István**

PF3/449-09

Szenzor- és méréstechnikai fejlesztések biomechanikai vizsgálatokhoz

Az orvosi egyetemmel együttműködésben folytatott kutatások célja olyan mérőrendszerek és jelfeldolgozási eljárások továbbfejlesztése, amelyek alkalmasak különböző terápiás eljárások objektív vizsgálatára. A kitűzött kutatási feladat része olyan szilárdtest alapú erőmérő szenzor- illetve mérőrendszer fejlesztés és mérési módszer megvalósítása, amely elsősorban az egyensúly és a járásvizsgálatok területén alkalmazható.

Témavezető: **Dr. Vad Kálmán**

PF3/450-09

Vékonyréteg napelem rétegszerkezetek vizsgálata

A doktori téma célja a vákuumtechnikai eljárásokkal készített Si alapú napelem-cellák szerkezeti továbbfejlesztése a működési hatásfok és a gyártástechnológiai gazdaságosság növelése céljából. A munka technológiai fejlesztési és kutatási feladatokat is tartalmaz.

Alternatív napelem-cellák (magnövelt hatásfokú α -Si, mikromorf-Si, tandem α -Si / μ -Si szerkezetek) létrehozása, előállítási technológiájának kidolgozása nem oldható meg elektronmikroszkópiai vizsgálatok, elemösszetétel analízis és az alkotó elemek mélységi profiljának a meghatározása nélkül. A kutatási programot az MTA Anyagtudományi Kutatóintézetében működő K+F programhoz kapcsolódóan, velük szoros együttműködésben kívánjuk végrehajtani. A feladat kísérleti jellegű: modell napelem vékonyfilmek előállítás a meglévő berendezéseken, minősítési eljárások kidolgozása másodlagos ion és semleges részecske tömegspektrométerekkel, összetétel és mélységi profil meghatározása, filmvastagság mérése, egyéb technológiával előállított filmek minősítése.

Témavezető: **Dr. Erdélyi Zoltán**

PF3/451-10



Diffúzió és szilárdtest reakciók vizsgálata vékonyrétegekben: kísérletek és szimulációk

Felületanalitikai módszerek alkalmazása diffúziós átalakulások vizsgálatára nanokristályos és amorf rétegekben. Egyedi határfelületek elmozdulásának vizsgálata mélységi profilírozással. Fázisnövekedési kinetikák szimulációja, feszültségek szerepének vizsgálata.

Témavezető: **Dr. Gulácsi Zsolt**

PF3/452-11

Erősen korrelált rendszerek jellemzése

Az erősen korrelált rendszerek általában olyan sokrészecskés és kvantummechanikailag viselkedő rendszerek, amelyekben a részecskék közötti kölcsönhatások aránylag nagy értékűek, így a korrelációs hatások is nagyok, ezáltal az alacsony szintű közelítésekben levezetett rájuk vonatkozó eredmények nem megbízhatóak. Ezen rendszerek elméleti jellemzése tehát magas fokú közelítés, vagy pontos úton történik, ez adja az e csoportkörbe tartozó anyagok érdekességét. Számos, ma az érdeklődés középpontjába álló ilyenszerű rendszer van, pl. szerves periodikus rendszerek, szerves vezetők, ritkaföldfém ötvözetek és vegyületek, réteges felépítésű rendszerek, stb. Ezen anyagok fizikai tulajdonságainak jellemzésével foglalkozna a kutatási téma.

Témavezető: **Dr. Daróczy Lajos**

PF3/453-13

Zajjelenségek martenzites átalakulást mutató anyagokban

A martenzites átalakulást mutató anyagokban különböző zajjelenségek figyelhetők meg az ausztenit és martenzitfázisban, valamint az átalakulás során is. A különböző eredetű jelek más-más fizikai folyamatról hordoznak statisztikai jellegű információt, így ezek összevetése, korrelációja fontos összefüggéseket tárhat fel a martenzites átalakulások mechanizmusáról.

Az átalakulás során mindig detektálható akusztikus emissziós jelel valamint igen kis fűtési/hűtési sebességek esetén zajszerű viselkedést mutató termikus (DSC) jel is. Ferromágneses alakmemória anyagokban ezek mellett mágneses emisszióból származó jelek is megfigyelhetők, amelyeket hőmérséklet-változással vagy deformációval válthatunk ki.

A kísérleti munka fő célkitűzése a különböző jelek megbízható, lehetőleg szimultán detektálása és a kapott zajspektrumok statisztikai feldolgozása.

Témavezető: **Dr. Erdélyi Zoltán**

PF3/454-14

Alkalmazások szempontjából fontos nanoanyagok vizsgálata

A különböző alkalmazási igények folyamatos kihívás elé állítják az anyagtudósokat. Állandó az igény új tulajdonsággal bíró vagy azonos tulajdonságokkal rendelkező, de olcsóbban előállítható anyagok létrehozására. A jelen kutatási téma ehhez az igényhez kíván alkalmazkodni azáltal, hogy a rendelkezésünkre álló kísérleti és elméleti (számítógépes szimuláció is) eszközökkel alkalmazási potenciállal rendelkező nanoanyagokat – elsősorban réteges szerkezetű (pl. nanolaminátok, multirétegek, mag-héj struktúrák) – kívánunk tervezni és előállítani, valamint tulajdonságaikat (pl. termikus stabilitás, elektromos, optikai) vizsgálni.

Témavezető: **Dr. Cserhádi Csaba**

PF3/455-16



Kirkendall eltolódás vizsgálata nanoskálán

Diffúzió kontrollált szilárdtestreakciók esetében a Kirkendall-sík eltolódása a klasszikus elmélet alapján magyarázható. A jelenség oka a különböző nagyságú atomi áramok miatt keletkező, a gyorsabb komponenssel szembe mutató eredő vakanciaáram, amely részben felelős a keveredés során felépülő mechanikai feszültségekért. Ezen feszültségek részleges, vagy teljes relaxációja vezet a Kirkendall-hatáshoz. Amennyiben a relaxációs folyamat gyors és teljes a keveredést a kölcsönös diffúziós együttható írja le. Ebben az ideális esetben a Kirkendall-eltolódás a diffúziós folyamat idejének négyzetgyökével arányos. Az hatás jól ismert kétalkotós, mikroszkópikus méretű mintadarabokban, de a méret 'nano'-tartományba csökkentése (vékony filmek, nano-héjak, vagy nano-szálak) újabb kérdéseket vet fel. Ebben a mérettartományban a vakancia források és nyelők közötti karakterisztikus távolság összemérhetővé válik a minta méretével, így eltérés várható a fenti esettől. A keveredést ilyenkor a lassúbb komponens diffúziója vezérli. Ilyen összetett körülmények között vizsgálunk vékonyréteg szerkezeteket különböző geometriában (sík, hengeres, gömbi) különböző fémes rendszerekben. A téma technológiailag többek között azért is fontos mivel Kirkendall-sík a diffúziós kötés leggyengébb pontja.

A kísérleti munka célkitűzése adatgyűjtés a mintákban létrejövő koncentrációeloszlásról, valamint a Kirkendall-sík helyzetéről. Ehhez különleges kísérleti technikákat használunk: SNMS mélységi profilírozás, különböző röntgen- és neutron-diffrakciós módszerek, amelyek ideálisak a nanoskálán zajló folyamatok vizsgálatára.

Témavezető: **Dr. Cserháti Csaba**

PF3/456-16

Atommozgási folyamatok 2 és 3 dimenziós szerkezetekben

Mikro- és nanométeres méretű, sík és hengeres geometriájú szerkezeteken vizsgálunk atommozgási folyamatokat. Vizsgáljuk az kiindulási anyagok közt végbemenő diffúziós, szilárdtest reakciós folyamatot, valamint annak függését a görbületi sugártól.

A téma kidolgozása elsősorban kísérletes kutatást igényel, a minta gyártásától az előkészítésem és a morfológiai és analitikai vizsgálatokon keresztül, az eredmények kiértékeléséig. A hőkezelések során végbemenő folyamatokat mikroszkópos módszerekkel kell vizsgálni és kiértékelni. Az eredmények kiértékeléséhez a tanszékünkön korábban kifejlesztett modelleket lehet használni illetve kell kiterjeszteni a vizsgált rendszerekre.

Témavezető: **Dr. Beke Dezső**

PF3/456-17

Fázisátalakulások zajos jellegének vizsgálata

Jól ismert, hogy martenzites átalakulások szakaszos jellegűek, azaz ezek során különböző (termikus, akusztikus és –ferromágneses anyagokban – mágneses) zajokat lehet észlelni. Ugyancsak vannak utalások az irodalomban arra, hogy alacsony hőmérsékleten a diffúzió illetve a szilárdtest reakciók is szaggatott jellegűek. A fenti jelenségek megértésének gyakorlati jelentősége van az acéliparban, az alakemlékező ötvözetek alkalmazásaiban, valamint a vékony filmek és multirétegek nanotechnológiáiban (ahol szilárdtest reakciókkal érik el kívánt tulajdonságokat) használt anyagok jobb funkcionális paramétereinek megvalósításában. Tehát, a szilárdtest fázisátalakulások során keletkező zajokat a fenti anyagokban fogjuk vizsgálni, differenciális pásztázó kaloriméterrel (DSC) és akusztikusan és mágnesesen emittált jelek észlelésével.



Témavezető: **Dr. Cserhádi Csaba**

PF3/457-17

Kockázat alapú megközelítések korrodált túlnyomásos olaj és gázipari berendezések megbízhatóságának értékelésében

Kár statisztikák olaj-finomítói iparágban tranzit olaj- és gázvezetékek valamint túlnyomásos berendezések esetében. Az olaj és gáziparban fellépő korróziós károk. Mérnöki módszerek a megbízhatóság értékelésére korrodált csővezetékek és nyomás alatti berendezések esetében, valamint ezek összehasonlítása. A kockázat alapú felülvizsgálat alapelvei. Az API 581 eljárások alapvető felépítése. A finomító iparban alkalmazott anyagok adatbázisai. A kiválasztott anyagok korrózióval szembeni ellenállásának kísérleti ellenőrzése a megfelelő paraméter térben. A mintadarabok metallográfiai, valamint kémiai elemzése fény és elektronmikroszkópokkal (pásztázó és transzmissziós), felületérzékeny technikákkal (szekunder semleges részecske tömegspektrometria, röntgen foto-elektron spektroszkópia), valamint röntgen diffrakcióval.

Témavezető: **Dr. Nemcsics Ákos**

PF3/458-17

Molekulasugár-epitaxiával növesztett GaAs-alapú nanostruktúrák vizsgálata

Ezidáig a rácsállandó eltéréseken alapuló feszültségindukált módszert alkalmazták a nulla-dimenziós III-V-anyagú nano-struktúrák előállítására. Ilyen struktúrákra tipikus példa a GaAs felületen a rácsfeszültség relaxációja nyomán képződő InAs kvantumpont. E területen egy új lehetőségként a csepp-epitaxia jelent meg. Ez az új módszer nemcsak alternatívája a korábbi technikának, de segítségével gyűrű és kettős gyűrű alakú kvantum struktúrák és inverz kvantum pontok, valamint kvantum-pont-molekulák is előállíthatóak. Bővebb információ a csepp epitaxiáról a mellékelt linken található:

<http://www.intechopen.com/books/quantum-dots-theory-and-applications/quantum-dots-prepared-by-droplet-epitaxial-method>

A csepp-epitaxiás módszer előnye a szabad anyagválasztás és a forma és az eloszlás variálhatósága, valamint teljesen kompatibilis a molekula-sugár-epitaxiával. Ennek a technikának a kézbe tartható műveléséhez elengedhetetlen a növekedés kinetikájának megértése, amelynek elméleti leírásában még sok a fehér folt. A jelentkező a fent vázolt munkába kapcsolódna be a következő módokon: méréskiértékelés, számolások, modellezések, szimulációk valamint kísérletek végzése molekula-sugár epitaxiás berendezésen.

Szükséges ismeretek és készségek: kondenzált anyagok fizikája, kreativitás, önállóság, együttműködő-képesség, angol szakszöveg értése, jó gyakorlati érzék (kísérleti munkák esetére).

Témavezető: **Dr. Vad Kálmán**

PF3/459-18

Nanométeres skálájú felületi atomi mozgások vizsgálata

Atomai szintű, nanométeres skálán történő felületfizikai folyamatok tanulmányozása a modern fizika témakörébe tartozik. A kutatási téma néhány nanométer vastagságú vékonyfilmekben és filmszerkezetekben termikusan, elektromosan, vagy optikailag előidézett



felületi és felület közeli atomi mozgások vizsgálata. Alacsony hőmérsékleteken (100-200C) az atomi migrációs folyamatokat jellemző aktivációs energiák és diffúziós együtthatók meghatározása nem egyszerű, ezért a kísérleti eredmények rendkívül hiányosak. Ráadásul a vékonyrétegekben és felületi rétegekben végbemenő atomi mozgási folyamatok jelentősen módosíthatják a nanoskálájú rendszer fizikai paramétereit. A kutatási program része vékonyfilmek és kétdimenziós rétegek előállítás. Különböző fém és oxid rétegeket készítünk fizikai és kémiai módszerekkel, a vizsgálatokhoz pedig nanométeres felbontású mélységprofil-analízist, elektronspektroszkópiai módszereket, valamint a felületi atomi mozgások és töltéseloszlások tanulmányozására alkalmas pásztázó tiszondás mikroszkópot alkalmazunk. A hallgató feladata a kísérletekhez alkalmazott atomi feloldást biztosító berendezések technikai működtetésének az elsajátítása, részvétel a kísérleti adatok feldolgozásában és az eredmények értelmezésében.



IV. Fizikai módszerek interdiszciplináris kutatásokban program

Témavezető: **Dr. Kiss Árpád**

PF4/412-94

Ionnyalábokon alapuló analitikai módszerek alkalmazása régészeti leletek és művészeti tárgyak vizsgálatára

A magfizikai gyorsítóknál előállított ionokat felhasználó roncsolásmentes módszerek, mint amilyen a PIXE (proton induced X-ray emission), a PIGE (proton induced gamma-ray emission), vagy az RBS (Rutherford backscattering) a művészeti tárgyak vagy a régészeti leletek vizsgálatára is alkalmazhatók. Ez elemvizést jelent, vagyis meg kell határozni, hogy a mintában milyen elemek vannak jelen, és milyen koncentrációban.

Az analízis a történelemnek vagy a régésznek olyan kvantitatív információt szolgáltat, amelyik segíti őt a tekintett korban dolgozó művész, vagy használati eszközök előállítását mesterember munkamódszerének megismerésében. Ezekre az ismeretekre a múzeumokban is szükség van restaurálások előkészítésénél és kivitelezésénél, a művészeti tárgyak valódiságának eldöntésében, eredetük meghatározásában. A modern lég- és egyéb szennyezések agresszív hatása veszélyezteti kulturális örökségünket. A szabadban lévő művészeti tárgyak eróziója, kopása közzismert, de minden művészeti tárgy ki van téve ennek, függetlenül attól, hogy hol van. A szennyezés és az öregedés okozta kopási folyamatok tanulmányozása a legkülönbözőbb analitikai módszerek felhasználását igényli.

A doktori munka témája a fenti módszereknek régészeti leletekre való alkalmazása, az ezekkel kapcsolatos módszertani problémák megoldása.

A doktori témára elsősorban kísérleti érdeklődésű, fizika (esetleg kémia) szakos diplomával rendelkező jelentkezőt várunk.

Témavezető: **Dr. Molnár Mihály**

PF4/418-99

Atomerőművek környezeti hatásai

Az atomerőművek légkörbe emittált globális szennyezői közül a ^3H , ^{14}C , ^{85}Kr a legfontosabb. A trícium HTO és HT, a radiokarbon szénhidrogén és szén-dioxid formában kerül kibocsátásra. A globális szennyezők mérése céljából mintavevőket telepítettünk az atomerőmű kéménylevegőt ellenőrző rendszerére, melyek kémiai formák szerint monitorozzák a radiokarbon és trícium kibocsátást, valamint levegőmintát gyűjtenek ^{85}Kr mérése céljából. Mintaelőkészítő és dúsítási eljárásokat fejlesztettünk ki az aktivitáskoncentrációik meghatározása érdekében, melyeket proporcionális és folyadékszintillációs számlálási technikák segítségével mérünk. A környezeti levegőben és a talajvízben is monitorozásra kerül a trícium, valamint a radiokarbon aktivitáskoncentrációja. Szivárgáshidraulikai és szennyeződésterjedési modellt adaptáltunk a területre, valamint elkészültek a terület szennyezettségi térképei.

A kidolgozandó téma keretében feladat az eddigi mérési adatsorok feldolgozása, a légköri és vízi radionuklid transzport számítások összevetése a mért értékekkel, az atomerőmű melletti figyelőkutak rendszeres mintázása. A környezeti radiokarbon, trícium és kripton-85 minták feldolgozása, aktivitáskoncentrációjuk meghatározása.



Radon a mofettákban

A vulkáni utóműködés végső terméke a gáz alakú széndioxid, a száraz mofetta. Ilyen például Erdélyben a Torjai-Büdös-barlang vagy Magyarországon a mátraderecskei széndioxid-gázszivárgás is. A mélységi eredetű gáz útja során a kőzetekből és a talajból különböző radonizotópokat is vesz fel. A felszíni radonexhaláció változása így nyomjelzője lehet a széndioxid feláramlási területeknek, amelyek a felszínközeli törések mentén fordulnak elsősorban elő. A mofettákat ugyanakkor száraz széndioxid-fürdő formájában gyógyászati célokra is alkalmazzák, ahol számolni kell a széndioxid mellett jelen lévő radonnal kapcsolatos sugárterhelések kockázatával is. Ennek a munkának a célja a mofettákban és széndioxid-fürdőkben előforduló radonizotópok térbeli és időbeli változásának vizsgálata és az eredmények környezetfizikai, környezet-geokémiai és környezeti-sugáregészségügyi értelmezése.

A szilárdtest nyomdetektor technika továbbfejlesztése és alkalmazásai

Csillámban az U^{235} hasadványai által okozott nyomokat (sugárkárosodást) először Silk és Barnes észlelte 1959-ben transzmissziós elektronmikroszkóppal (TEM). Az ezt követő néhány évben sok vizsgálatot végeztek a különböző töltött részecskéktől eredő nyomok kémiai maratással történő olyan megnövelésére, hogy az közönséges optikai mikroszkóppal is megfigyelhető legyen. A maratási technika lehetővé tette a nyomok észlelését mind kristályos, mind amorf anyagokban, felnagyítva az eredeti hibahelyet kb. négy nagyságrenddel, $\sim 10 \mu\text{m}$ méretre. A különböző polimer anyagokból készült nagyméretű vékony fóliák megjelenése a tudományos és gyakorlati alkalmazások széles körét érintette (magfizika, részecskefizika, magtechnika, kozmikus sugárzás, nukleáris asztrofizika, geológia, archeológia, úrkutatás, meteoritok, tengerfenék vizsgálatok, dozimetria). A széleskörű alkalmazásokkal együtt járt a megbízható, reprodukálható kiértékelési módszerek kidolgozása, különösen a radon (Rn) koncentráció meghatározása terepi, vagy lakótéri körülmények között, aminek a természetes háttérsugárzás dózisének meghatározása miatt különös jelentősége van.

A kutatás célja annak a megállapítása, hogy van-e egyértelmű korreláció egy adott detektorral (pl. CR 39) mért nyomok száma és az elszennvedett sugárdózis között. Ezen vizsgálatok igénylik annak a megállapítását, hogy milyen külső paraméterek befolyásolhatják a detektor felületére érkező Rn atomok és bomlástermékeik számát, majd az általuk keltett nyomok detektálási hatásfokát. Ez utóbbi összefügg a nyomok kialakulási mechanizmusának további tisztázásával, a toron (Tn) hatásának tanulmányozásával, a nyomok kimaratósi és számlálási technikájának ellenőrzésével. A feladat sikeres megoldása lehetőséget kínál a szilárdtest nyomdetektor technikai alkalmazási körének további kiterjesztésére.

Radon és bomlástermékei levegőbeli viselkedésének vizsgálata szabadtéren és zárt légterekben

A korábbi években egy érzékeny hirtelen-mintavételes módszert dolgoztunk ki a radon (^{222}Rn és ^{220}Rn) bomlástermékeinek meghatározására levegőben, és vizsgáltuk e módszer



tulajdonságait. A kutatási téma keretében folytatódik a módszer hardveres és szoftveres fejlesztése, valamint tulajdonságainak vizsgálata.

A levegő radon-tartalmának aktív monitoros mérése, valamint az időjárási változók értékeinek folyamatos mérése és regisztrálása segítségével lehetőség nyílik a radon és bomlástermékei dinamikájának vizsgálatára a környezeti körülmények függvényében szabad téren és zárt légterekben (lakás, barlang). Az eredményekből hasznos következtetések vonhatók le az embert különböző helyszíneken érő, radon-eredetű sugárterhelés értékére vonatkozóan.

Témavezető: **Dr. Palcsu László**

PF4/427-08

Cseppkövek folyadékszárányaiban lévő nemesgázok mint a múltbeli klíma vizsgálatának új eszköze

A közeljövő éghajlatában bekövetkező változásokat annál pontosabban lehet megjósolni, minél részletesebben ismerjük a múltban megtörtént változásokat és annak okait. Ezért vált a múltbeli klíma kutatása napjaink egyik legaktuálisabb, legfontosabb kutatási területévé. Számos módszert alkalmaznak a múltbeli klimatikus viszonyok felderítésére, melyek mindegyike valamiféle geológiai képződmény vizsgálatához kötődik. A módszerek közös jellemzője, hogy a minták hordozta valamilyen tulajdonságból közvetett, tapasztalati úton juthatunk éghajlat-információhoz. Az egyetlen közvetlen, azaz abszolút hőmérséklet-meghatározási módszer, a felszín alatti vízben oldott nemesgázok koncentrációjának mérésén alapul. A módszer alapja, hogy a Ne kivételével a nemesgázok oldhatósága vízben – különösen a xenoné – a hőmérséklet emelkedésével erősen csökken. A vízben oldott nemesgáz koncentrációját az oldhatóság és a parciális nyomás szorzata adja meg. Mivel a nemesgázok parciális nyomása levegőben ismert, a vízben oldott nemesgázok koncentrációjából a beoldódás hőmérséklete kiszámítható.

A cseppkövek folyadékszárányaiban oldott nemesgázok koncentrációja ugyanígy a képződésük idején uralkodó környezeti hőmérsékletet tükrözi, tehát a cseppkőminták kormeghatározása és folyadékszárányaikban oldott nemesgázok koncentrációja alapján a múltbeli klímaváltozásokról elvileg közvetlen információ nyerhető. A PhD munka során a hallgató részt vesz a cseppkövek folyadékszárányaiban oldott nemesgázok meghatározására szolgáló minták előkészítésében és a nagy pontosságú tömegspektrométeres mérés módszerének kidolgozásában. Megvizsgálja, hogy a cseppkövek folyadékszárányaiban oldott nemesgázok mennyire alkalmasak a barlanghőmérséklet tanulmányozására. Ehhez laboratóriumi karbonát-mintákat készít, illetve recens cseppkőmintákat elemez, és a mérések során kapott nemesgáz-koncentrációkból beoldódási hőmérsékleteket számol, amelyeket összevet a cseppkő képződése során uralkodott tényleges hőmérséklettel. Ezt követheti idősebb cseppkövek vizsgálata, a kapott eredmények értelmezése a múltbeli klímaváltozással kapcsolatban.

Témavezető: **Dr. Uzonyi Imre**

PF4/429-08

Ionsugaras mikroanalitika a geológiai kutatásban

A geológiai minták általában krisztallitok és amorf komponensek komplex halmazai. Vizsgálatukkal következtetéseket vonhatunk le a Föld belsejében zajló geokémiai folyamatokra, valamint a Föld felszínét érő behatásokra. Kémiai összetételük elemzése alapját képezi nyersanyag lelőhelyek feltárásának és ásványok feldolgozásának.



A néhány MeV energiájú gyorsító berendezésekre alapozott ionsugaras analitikai technikákat (részecske-indukált gamma-/röntgenemisszió: PIGE/PIXE, Rutherford-féle visszaszórás analízis: RBS, magreakció analitika: NRA) roncsolásmentességük, kiváló érzékenyséjük, laterális és mélységi felbontóképességük, valamint a standardnélküli analízis lehetősége miatt, egyre szélesebb körben használják a geológiai kutatásban. Pásztázó nukleáris mikroszondák és az ionsugaras módszerek együttes alkalmazásával elvileg lehetőség van az elemi összetétel meghatározása a mikroszkópikus méretek tartományáig $1 \times 1 \mu\text{m}^2$ síkbeli és — elemtől, mintától függően — 10-20 nm mélységi felbontással, valamint 1-100 ppm közötti detektálási határértékkel.

Együttműködésben a Debreceni Egyetem Ásvány- és Földtani Tanszékével. Ionsugaras módszerekkel különböző lelőhelyről származó obszidián minták összehasonlító geokémiai vizsgálatát végeztük el, ásványokat és kőzetek analizáltunk. Jelentős erőfeszítéseket tettünk kozmikus mikroobjektumok (mikrometeoritok, szferulák) valamint meteoritok becsapódása során képződő ún. impak anyagok vizsgálata terén is (pl. Barringer-Kráter, Arizóna).

Ezen kutatások inspirálják az ionsugaras analitikai eljárások folyamatos továbbfejlesztését érzékenység, detektálható elemek tartománya, pontosság, laterális feloldás és detektálási küszöbök javítása tekintetében. Ezért célul tűztük ki a 2D kvantitatív mikroanalitikai eljárások (elsősorban a micro-PIXE technika) elvi-fizikai alapjainak a vizsgálatát, az adatbázisban használt alapvető paraméterek egy részének pontos kísérleti meghatározását.

Témavezető: **Dr. Csige István**

PF4/430-09

Építési területek radonveszélyességének jellemzése

A lakosság természetes forrásokból eredő sugárterhelésének legnagyobb része a lakások légterében lévő radon gáz bomlástermékeinek belégzéséből származik. Ez a sugárterhelés szerepet játszik a tüdőrák kialakulásában. A radon elleni hatékony védelem többek között megkívánja, hogy a jövőben felépülő épületek esetében már az épület tervezése, építése során figyelemmel legyünk arra, hogy a majdani épület radon szempontjából is biztonságos legyen. Mivel a kiemelkedően magas radontartalomért az esetek nagy többségében a talajból az épületbe áramló radon gáz a felelős, ezért a jövőben épülő épületek esetében nagy jelentősége lehet annak, hogy mennyire radonveszélyes az adott építési terület. Ennek a munkának a célja, hogy továbbfejlessze az építési területek radonveszélyességének meghatározására szolgáló eljárásokat.

Témavezető: **Dr. Molnár Mihály**

PF4/431-09

Alternatív módszerek fejlesztése a légkör fosszilis CO₂ hányadának mérésére

A jelenleg használatos módszereknél egyszerűbb és olcsóbb eljárások kifejlesztése lenne kívánatos a légköri CO₂ fosszilis tüzelőanyagokból származó hányadának becslésére. Jelenleg a világon kevesebb, mint tíz olyan mérőállomás van, amely a fenti paramétert a Kyotói Egyezményben előírt pontossággal tudja mérni. A cél olyan mintavételi eljárás(ok) kifejlesztése, amelyek lehetővé teszik hosszabb időintervallumot reprezentáló levegőmintákban a fosszilis CO₂ direkt mérését. Megvizsgálandó, hogy a levegő CO₂ tartalmának ismerete milyen feltételek mellett ad reális becslést a CO₂ fosszilis hányadára. E célból kifejlesztésre kerül egy nagy pontosságú online monitoring rendszer, amelynek segítségével a CO – fosszilis CO₂ kapcsolat vizsgálható regionális szinten. Megvizsgálandó továbbá, hogy a faévgyűrűk ¹⁴C aktivitása felhasználható-e az atmoszféra múltbeli fosszilis



CO₂ tartalmának becslésére. Ehhez olyan magyar (K-Pusztai és Hegyhátsági) és külföldi (Kosetice, Csehország) megfigyelőállomások közeléből származó fák évgyűrűinek ¹⁴C aktivitásának mérését kell elvégezni, ahol a múltban az atmoszférikus CO₂ koncentráció mérése folyamatos volt. A faévgyűrűk radiokarbon tartalmának mérése AMS módszerrel egyelőre külföldi laboratórium(ok)ban, a minta-előkészítés az ATOMKI-ban történne. Ennek alapján várhatóan rekonstruálhatók lesznek az atmoszféra fosszilis CO₂ tartalmának az elmúlt évtizedekben bekövetkezett változásai.

Témavezető: **Dr. Rajta István**

PF4/432-09

Protonnyalábos mikromegmunkálás

A mikroalkatrészek, mikroérzékelők, mikrogépek és mikro-elektromechanikus rendszerek gyártástechnológiája dinamikusan fejlődő terület, világszerte jelentős kutatási kapacitást képvisel. Jelenleg számos technológiát alkalmaznak mikrostruktúrák előállítására (pl. optikai litográfia, elektronnyalábos litográfia, fókuszált alacsony energiájú ionnyalábos megmunkálás, stb.). Ezen módszerek nagy része vékonyréteg mikrostruktúrák előállítására képes, mivel az optikai, az elektron és az alacsony energiájú ionszondák nyalábjainak behatolási mélysége általában mindössze néhány mikrométeres nagyságrendű a reziszt anyagokban. A vékony mikroalkatrészek (pl. gyorsulásmérők, giroszkópok, stb.) gyártása sikeresnek mondható, azonban egyre növekvő igény mutatkozik valódi 3 dimenziós mikrostruktúrák előállítására is (pl. mikrocsatornák, folyadék áramlásmérők, szelepek, mikro-üregrezonátorok, stb.)

A magas oldalarányú mikromegmunkálás (HARM - High Aspect Ratio Micromachining) technológiák lehetővé teszik 3 dimenziós, vastag mikrostruktúrák készítését általában olyan ionizáló szondák felhasználásával, amelyeknek nagy a behatolási mélysége a rezisztben. Két ilyen módszer a LIGA (Lithographie Galvanoformung Abformung), amely röntgensugárzást alkalmaz; és a néhány MeV energiájú protonokat használó PBW (Proton Beam Writing), a behatolási mélység mindkét esetben ~100 μm. HARM módszerekkel már számos mikrostruktúra készült (pl. mikroprés, fogaskerekek, csatornák, stb.)

A LIGA eljárás során szinkrotronból származó nagy intenzitású röntgensugárzás halad át egy megfelelően kialakított maszkon, majd az átjutó fotonok hozzák létre a mintázatot az erre alkalmas reziszt anyagban. Ezzel szemben a PBW direkt írásos technika, így azzal az előnnyel rendelkezik, hogy nincs szükség maszkra. Tehát a PBW ideális eszköz a reziszt anyagok kutatásához, és prototípus mikrostruktúrák készítéséhez. Jelenleg egy NKTH pályázat áll elbírálás alatt, amelynek célja röntgen maszkok készítése a LIGA-hoz.

A témavezető Szingapúrban töltött posztdoktori tanulmányútja során részt vett a PBW módszer kifejlesztésében, majd hazatérve, Debrecenben is meghonosította ezt a módszert.

Témavezető: **Dr. Fenyvesi András**

PF4/433-10

Nagyenergiájú neutronok okozta sugárkárosodási és sugárvédelmi problémák

Nagyintenzitású gyorsneutron komponens tartalmazó kevert terek például az alábbi területeken játszanak komoly szerepet:

- nukleáris energetika: hasadási és fúziós reaktorok, radioaktív hulladékokat átalakító rendszerek,



- anyagszerkezeti kutatási célokat szolgáló nagyintenzitású gyorsneutron források: SNS, J-PARC, ESS, IFMIF, stb.,
- nagyenergiájú részecskegyorsítók és részecskefizikai kísérletek környezete,
- világűr kutatás,
- repüléstudomány,
- katonai alkalmazások,
- sugárterápia.

A sugárzási környezetben levő közegek atommagjaival kölcsönható neutronok egyrészt atomkilöködési kaszkádok révén sugárkárosodási folyamatokat indíthatnak el, másrészt a magreakciókban radioizotópok is keletkezhetnek, melyek a közegek felaktiválódását is eredményezhetik.

A tervezett kutatómunka elsősorban a gyorsítók elemeiben és környezetében felmerülő sugárkárosodási és sugárvédelmi problémák modellezését és kísérleti vizsgálatát célozza meg, különös tekintettel az ESS (European Spallation Source) szempontjából fontos problémákra.

Témavezető: **Dr. Csikai Gyula**

PF4/434-10

Tiltott (kábitószerkek) és veszélyes anyagok (taposóaknák, robbanószerkek) kimutatása neutronokra alapozott módszerekkel

Az említett anyagok kimutatására a neutronok rugalmas és rugalmatlan szóródása kedvező lehetőséget kínál, ezek fő összetevőinek (H, C, N, O) meghatározása alapján. A lakosságot veszélyeztető taposóaknák kimutatására a hordozható fémérzékelők mellett rendelkezésre áll neutron detektor is, ami különösen a plasztik robbanó anyagokra érzékeny a nagy hidrogén tartalmuk alapján. Az utóbbiak a talajfelszín gyors letapogatása révén az anomáliák észlelésére alkalmasak. A termikus és/vagy epitermikus neutronok reflexiója a szállítószalagok csomagjainak gyors átvilágítását is lehetővé teszi. Ezek a módszerek az érzékenységet és az anyag beazonosítását illetően további fejlesztésre szorulnak. A gyors neutronok (> 10MeV) rugalmatlan szórásával a szén és az oxigén 4.44MeV illetve a 6.13MeV energiájú gamma átmenetei gerjeszthetők. Mindkét esetben ezen gamma sugarak szögeloszlásának pontos ismeretére lenne szükség, ami a ${}^3\text{H}(d,n){}^4\text{He}$ reakció 14MeV energiájú neutronjaival meghatározható. A nitrogén meghatározására a C és O elemekkel együtt a gyors neutronok rugalmas visszaszórási spektrumának mérése látszik megfelelőnek. A C, N és O esetén a rugalmas szórási hatáskeresztmetszetek energia függésében lévő szerkezetek (8, 4 és 2.3, 3.2MeV energiáknál) erre alkalmasnak ígérkeznek. Az NE213 szcintillátorra alapozott spektrométer rendelkezésre áll, de szükséges a komplex neutron spektrum lebontására (unfolding) alkalmas program kidolgozása. A H, C, N és O elemek alapvető összetevői a tiltott és veszélyes anyagoknak, ezért ezek észlelése és beazonosítása atomarányaik ismeretében lehetséges. A kísérleti eredmények elméleti értelmezése, főleg MCNP számítással.

Témavezető: **Dr. Csikai Gyula és Dr. Fenyvesi András**

PF4/435-10

Neutron indukált reakciók gerjesztési függvényének vizsgálata a 8-12MeV problematikus tartományban

Egy átfogó munkát publikált az IAEA-NDS „Reference neutron activation library” címmel, (IAEA-TECDOC-1285, VIENNA, 2002), amelyből kiderül, hogy a gerjesztési függvények hiányosak és pontatlanok különösen a 8-12MeV bombázó energiatartományban. Nagyon kevés adat áll rendelkezésre a rövidéletű izotópok előállítására. Ezek az adatok



kiegészíthetők a mintaszállításra az elmúlt években az ATOMKI MGC-20 ciklotronjánál kidolgozott gyors csőpostával. A minta futási ideje a besugárzó és a mérőhely között kb. 10 sec. A gerjesztési függvényeket az (n,n') , (n,p) , (n,d) és az (n,α) reakciókra kellene meghatározni. A sok-fóliás módszer a bombázó neutronok spektrumának meghatározására, már korábban kidolgozásra került. A mért adatokat a modell számítások eredményeivel kell összevetni.

Témavezető: **Dr. Kun Ferenc**

PF4/436-11

Szilárdtestek törésének és fragmentációjának vizsgálata

A rendezetlen mikroszkópikus tulajdonságokkal rendelkező anyagok külső terhelés alatt bekövetkező törése nagyon fontos tudományos és technológiai probléma, amelynek elméleti leírása a statisztikus fizika és a számítógépes fizika számára is tartogat kihívásokat. Általános tapasztalat, hogy a rendezetlen mikroszkópikus tulajdonságokkal rendelkező szilárdtestek külső terhelés alatt, egy meghatározott kritikus terhelés értéknél elvesztik integritásukat és két vagy több darabra törnek. A törés folyamata és eredménye, a test jellemzői mellett, erősen függ a terhelés sebességétől is. Lassan növekvő terhelés esetén a szilárdtest tipikusan két, közel azonos méretű darabra esik szét (*kvázisztatikus törés*), viszont ha nagy energiát közlünk egy testtel rövid idő alatt, akkor az nagyon sok apró darabra hullik (*fragmentáció*). A dinamikus törés jelensége átmenetet képez a kvázisztatikus törés és a fragmentáció között. *Dinamikus törés* akkor jön létre, ha egy testtel rövid idő alatt nagymennyiségű energiát közlünk, de a határfeltételek biztosítják, hogy egyetlen repedés keletkezik, amely nagy sebességgel terjed.

A doktori munka célja rendezetlen mikro-tulajdonságokkal rendelkező szilárdtestek törésének és fragmentációjának vizsgálata. A kutatómunka elsősorban elméleti jellegű, de az elméleti vizsgálatokat kísérleti csoportokkal szoros együttműködésben tervezzük. A jelölt munkájának részét képezi kísérleti eredmények feldolgozása, illetve részvétel a kísérletek tervezésében és kivitelezésében. A törés és fragmentáció jelenségének elméleti vizsgálata számos olyan problémát vet fel, amelyeket egzakt, analitikus módszerekkel nem lehet kezelni, így az elméleti megközelítések jelentős része számítógépes szimulációra épül. A szimulációk során mind determinisztikus (molekuláris dinamika), mind sztochasztikus (Monte Carlo) módszereket is felhasználunk.

Témavezető: **Dr. Kun Ferenc**

PF4/437-11

Lavinák dinamikája és statisztikus jellemzői komplex rendszerekben

A nagyszámú, kölcsönható elemből álló, hajtott, disszipatív rendszerek közös tulajdonsága, hogy a külső hajtás eredményeként metastabil állapotba kerülnek, amelytől egy relaxációs mechanizmussal szabadulnak meg. Míg a hajtás egy lassú, sima függvényekkel leírható folyamat, addig a relaxáció gyorsan játszódik le és mikroszkópikus szinten a rendszer elemeinek lavinászerű átrendeződésével jár. Ilyen dinamikai jellemzőkkel rendelkezik a Földkéreg, vagy egy mechanikai terhelésnek kitett heterogén szilárd test, ahol a hajtást a lassan változó terhelés, a relaxációt pedig földrengések, illetve repedések lavinászerű létrejötte jelenti.

A doktori munka keretében lavinák kialakulásának dinamikáját, valamint statisztikus jellemzőit vizsgáljuk komplex rendszerekben. A földrengések és a heterogén anyagok kúszó törésének analógiájára építve olyan statisztikus fizikai modellt dolgozunk ki, amely képes leírni a lavinákat jellemző valószínűség eloszlások univerzális aspektusait. A doktori munka fontos célja annak tisztázása, milyen körülmények között lehetséges a lavinák dinamikája



alapján előrejelzést adni a közelgő katasztrófális törésről, illetve egy nagyerejű földrengésről. A kutatómunka elsősorban elméleti jellegű, analitikus számításokat, valamint a Monte Carlo és molekuláris dinamikai módszerekre épülő számítógépes szimulációt igényel. A kutatómunkát szoros együttműködésben végezzük kísérleti partnerekkel, így a feladatok részét képezi mérési adatok feldolgozása is.

Témavezető: **Dr. Kertész Zsófia**

PF4/438-11

Légköri aeroszol jellemzése nukleáris mikroanalitikai módszerekkel

A levegő minőség egyik legfontosabb jellemzője a légköri aeroszol (PM10, PM2.5) koncentráció. Az emberi egészségre gyakorolt negatív hatásuk valamint a Föld sugárzási egyensúlyának alakulásában játszott szerepük miatt a légköri aeroszol részecskék tulajdonságainak pontos, kvantitatív felmérése már nemcsak a kutatók számára fontos, hanem az egyes kormányok és hatóságok számára is.

A doktori munka célja légköri aeroszol jellemzése és az embert érő aeroszol-terhelés vizsgálata. A munka szervesen kapcsolódik az MTA Atommagkutató Intézetében ionnyaláb analitikai technikákon alapuló aeroszol kutatáshoz. A PhD hallgató feladata bekapcsolódni ezekben a kutatásokba, mintavételi, mintapreparálási és analitikai módszerek fejlesztése, és a légköri aeroszol komplex jellemzése.

Egyik fő kutatási irány a meglévő, Európában egyedülálló, 25 éves múltra visszatekintő adatbázis feldolgozása (pl. hosszú távú tendenciák, szezonális változások megállapítása, hosszú távú transzportfolyamatok vizsgálata valamint forráselemzés statisztikai módszerekkel).

Feladat még a módszerfejlesztés terén a levegőre kihozott ion mikronyaláb megvalósítása, tesztelése és alkalmazása légköri aeroszol kutatásban.

Témavezető: **Dr. Nándori István**

PF4/439-12

Mágneses nanorészecske rendszerek relaxációjának elméleti vizsgálata

Mágneses nanorészecskék relaxációjának hőtermelés céljából végzett vizsgálata, azaz a lokalizált lázterápia ötlete több évtizedre tekint vissza. A szervezetbe juttatott mágneses nanorészecskék külső változó mágneses tér hatására hőt termelnek, ami felhasználható a tumorsejtek elpusztítására. A lokalizált hőkezelés sok esetben ígéretes kiegészítő kezelési eljárás is egyben, mivel sugárterápiával kombinálva a sejtciklus más-más szakaszára hatnak. Bizonyos német klinikákon már gyakorlatban is alkalmazzák a mágneses lázterápiát mégis eddig komoly akadályba ütközött hatékonyságánk elfogadható szintre való emelése. Ennek az oka, hogy a szervezetbe juttatott mágneses nanorészecskék, többnyire gyorsan kiürülnek. Ezért fontos kérdés a "hőtermelési hatékonyság" növelése például fizikai paraméterek optimalizálásával.

A jelen kutatási téma célkitűzése a mágneses lázterápia hatékonyabbá tétele; konkrétan egy újonnan javasolt (J. Racz, P. F. de Chatel, I. A. Szabo, L. Szunyogh, I. Nandori, Phys. Rew. E 93, (2016) 012607) külső gerjesztő tér tanulmányozása. Az említett publikációban közölt előzetes eredmények alapján, ez az új típusú gerjesztő tér hatékonyabb hőtermelést tesz lehetővé. A feladat, a kísérleti megvalósításhoz elengedhetetlen statikus tér és termikus fluktuációk figyelembe vétele.

Témavezető: **Dr. Csige István**

PF4/440-13



Felszín alatti szennyezett áramlások hidrodinamikai modellezése

Az utóbbi években egyre nagyobb figyelem fordult a felszín alatti vizeknek veszélyes (többek között radioaktív) ipari hulladékokkal történő elszennyeződése felé. Ezek a kutatások nagymértékben támaszkodnak a szennyezők terjedését leíró modellszámításokra. A tervezett kutatás célja ilyen koncepcionális földtani-fizikai, matematikai, numerikus és számítógépes modellek fejlesztése és alkalmazása egyes hazai radioaktív-hulladéktárolókra. A feladat kidolgozására rendelkezésre állnak véges differenciák (Visual Modflow) és végeelem (COMSOL Multyphysics, Subsurface Flow Module) módszereket használó számítógépes alkalmazások.

Témavezető: **Dr. Palcsu László**

PF4/441-14

Új paleoklimatológiai, izotóphidrológiai vizsgálati módszerek fejlesztése és alkalmazása

Kutatásaink alapvetően azokra az érzékeny és pontos analitikai eljárásainkra épülnek, melyeket az utóbbi évtizedekben honosítottunk meg intézetünkben. Ezen módszereket szeretnénk továbbra is fejleszteni, illetve új vizsgálati eljárásokat szeretnénk kidolgozni, melyeket aztán izotóp-hidrológiai és paleoklimatológiai kutatásokban alkalmaznánk.

Terveink között szerepelnek az alábbi témakörök:

- a csapadékokban lévő kozmogén ^{35}S izotópot nagyon fiatal források korolására használjuk fel.
- tőzegmohalápi tőzegmoha (*Sphagnum*) fajokból kivont alfa-cellulóz oxigénizotóp-összetételének vizsgálata alapján a múltbeli klíma vizsgálata.
- cseppkövek korolása $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ módszerrel.
- cseppkövek folyadékzárványainak hidrogén- és oxigénizotóp-összetételének vizsgálata a múltbeli barlangi környezetfejlődés rekonstruálása érdekében.
- múltbeli hőmérsékletek rekonstruálása cseppkövek és egyéb karbonátok folyadékzárványaiban oldott nemesgázok vizsgálatával.
- klímarekonstrukció felszín alatti vizek beszivárgási hőmérsékletei és korolása alapján.

Lehetséges vizsgálati helyek: Magyarország, Szerbia, Szlovákia, Bulgária, Macedónia, Argentína, Irán és Ecuador.

Témavezető: **Dr. Erdélyi Róbert**

PF4/442-15

Makroszpikulák szerepe a Nap légkördinamikájában

A Naplégkör magas, több millió fokos hőmérséklete a modern asztrofizika egyik megoldatlan rejtélye, ami számos nemzetközi kutatóintézet programjában központi helyen szerepel (ESA, NASA, JAXA, etc...). A javasolt kutatási téma ebbe az erőfeszítésbe illeszkedik, mégpedig a Naplégkör lokális dinamikájának vizsgálatára koncentrálna, az un. makroszpikulára fókuszálva. A makroszpikulák a Nap kromoszférájában feltűnő dzset-szerű, elongált mágneses plazmaszerkezetek, melyek energiát szállítanak néhány száz km/s sebességgel a Nap felsőbb légkörébe. Jellemző élettartamuk 15-25 perc, hosszuk akár 80 Mm is lehet, míg átmérőjük igen csekély (1-2 Mm) méretükhöz képest. Két kategóriába csoportosíthatók, attól függően hogy a nyílt mágneses erővonalakkal rendelkező koronalyukakban, vagy a zárt erővonalas nyugodt Nap térségben keletkeznek.



Az SDO (Solar Dynamics Observatory műhold, amelynek a Témavezető a NASA által meghívott tudományos tanácsadója) Atmospheric Imaging Assembly (AIA) képalkotó távcsöve segítségével a makroszpikulák fizikai tulajdonságait, illetve azok napciklus során történő fejlődését kívánjuk meghatározni a projekt során. Következő lépésben a szpikulák maximális hosszúságában a nemrégiben általunk felfedezett közel kétéves periódust kívánjuk nagyobb statisztikán megerősíteni, illetve más makroszpikuláris jellemzőkben is kimutatni. A fenti vizsgálatot az AIA kamera összes hullámhosszaira (azaz a Naplágkörben lévő magasság függvényében) kiterjesztve fogjuk általánosítani. A Nap koronafűtése szempontjából elengedhetetlenül szükséges meghatározni, hogy ezek a dzsetek milyen mennyiségű nem-termális energiát szállítanak a Nap légkörének alsó rétegeiből a felsőbb régiókba, illetve a Napszélbe. Ennek keretében fontos paraméter a makroszpikulák rotációs sebessége-profilja. Ehhez a nemrég felbocsájtott Interface Region Imaging Spectrograph (IRIS) műhold adatait fogjuk vizsgálni és összevetni az SDO által mért adatokkal.

Az szoláris MHD elmélete szerint a makroszpikulák számára az Nap Tranzíciós Rétege egy vékony, membrán-szerű elasztikus felső határréteg. Amikor a felszálló makroszpikulák elérik a Tranzíciós Réteget, egy horizontálisan propagáló hullám keletkezik. Ezt a jelenséget Transition Region Quake-nek (TRQ) nevezik, amelynek gyaníthatóan *kiemelkedő* szerepet játszhatnak a Naplégkör fűtésében. Ha a makroszpikulák és a TRQ közötti kapcsolat feltárt részleteiben, jobban megismerhetnénk a plazmafűtési szempontból fontos energiáttranszport módját a Nap légkörén keresztül. A jelen projekt utolsó fázisa, megvizsgálni hogy milyen módon jönnek létre a makroszpikulák illetve, milyen kapcsolatban állnak a Nap Konvekciós Zónájában működő mágneses napdinamóval és annak ciklusaival. Ehhez összetett numerikus MHD szimulációkra van szükség melyet a SAC (Sheffield Advanced Code) segítségével kívánunk elvégezni. Végezetül, de nem utolsó sorban, a fenti kutatás fontos része a Debreceni Napfizikai Observatórium műszereivel végzett észlelési napfolt-adatok elemzése, melyek szoros összefüggésben vannak a szpikulák eredetével.

Témavezető: **Dr. Baranyi Tünde**

PF4/443-17

A naptevékenység és szoláris irradiancia vizsgálata

A Nap elektromágneses sugárzási teljesítménye, az ún. szoláris irradiancia egyike a Föld klímarendszerét meghatározó legfontosabb energiaforrásoknak. Adatsora egyike a leghosszabb és legalapvetőbb klíma-adatoknak, amelyeket űreszközökkel mértek. A spektrális irradiancia (Solar Spectral Irradiance, SSI) vagy a teljes (a spektrumra integrált) szoláris irradiancia (Total Solar Irradiance, TSI) változása befolyásolhat egy sor sugárzási, dinamikai vagy kémiai folyamatot a Föld légkörében, és hozzájárulhat a klímaváltozáshoz. Az űreszközökön végzett mérések alapján a TSI $\sim 0.1-0.3\%$ mértékű változékonyságot mutat a különböző időskálákon, míg az SSI változásának mértéke hullámhosszfüggő. Jelentős erőfeszítések történnék arra vonatkozóan, hogy a változásokat mérjék, modellezzék, és tisztázzák ezekben a Napon található mágneses alakzatok szerepét. Jelenleg nincsen fizikai modellje ezeknek a változásoknak, de fél-empirikus és ú. n. helyetteseken alapuló (proxy) modelleket fejlesztenek, amelyek lehetővé teszik, hogy olyan hullámhossz-tartományban is vizsgáljuk a hatásokat, amelyekre vonatkozóan nincsenek direkt mérések, valamint ezek segítenek kiterjeszteni a szoláris-klimatikus kapcsolatok vizsgálatát visszafelé azokra az időkre, amikor még nem történtek közvetlen irradiancia-mérések. A proxy modellek a napfoltok sötétségét valamint a fáklyák és kisebb mágneses alakzatok fényességét jellemző napi indexeken alapulnak, és a modellek hatékonysága nagyban függ az indexek pontosságától. Ezekre a jelenségekre nézve a debreceni Napfizikai Observatórium naptevékenységi katalógusai a legteljesebbek. A jelölt egyik feladata az lesz, hogy a katalógusok alapján a modellek bemenő adatait javítsa. A jelölt másik feladata az lesz, hogy



olyan statisztikai vizsgálatokat végezzen és proxy--modelleket készítsen, amelyek a szoláris alakzatok hozzájárulására vonatkozó nyitott kérdésekre keresik a válaszokat.. Például, a témavezető korábbi eredményei azt mutatják, hogy egy napfoltcsoport hozzájárulása nemcsak a foltok területétől és kontrasztjától függ hanem a foltcsoport fejlődési stádiumától és morfológiájától is. Többek között a jelölt feladata lesz az is, hogy ezeket az eredményeket megerősítse vagy cáfolja a új, nagy pontosságú irradiancia-adatok felhasználásával, pl. azokkal, amelyet a 2017 októberében felbocsátásra kerülő Total and Spectral Solar Irradiance Sensor (TSIS) műhold fog mérni.

Témavezető: **Dr. Erdélyi Róbert**

PF4/444-18

Magnetohidrodinamikai hullámok a naplégkörben

Nagy felbontású földfelszíni- és világűrbeli észlelések segítségével a naplégkörben mindenütt megfigyelhetők MHD hullámok. Igen fontossá teszi őket, hogy ezek nyújthatják a naplégkör plazmafűtésének domináns forrását, amely a modern asztrofizika egyik kulcsfontosságú talánya. A naplégkörbeli MHD-hullámok kutatásának másik lényeges vonatkozása, hogy ahol e hullámok terjednek, ott egyúttal fel is használhatók a Nap mágneses plazmájának diagnosztikai vizsgálatára. E kutatási program célja, hogy kiterjessze az inhomogén hullámvezetőkre vonatkozó jelenlegi MHD-hullámelméletet. Az elmélet alkalmazására több szoláris jelenség esetében sor kerül, a pórusoktól a fényes mágneses pontokon át, a szpikulákig.

A kutatás magában foglal matematikai modellezést, valamint nagy spektrális, tér- és időbeli felbontású naptávcsövek adatainak elemzését. A megalkotott MHD-elmélet igazolása az analitikus eredmények észlelésekkel való alátámasztása által történik.

E téma kiváló matematikai modellezési képességeket igényel, melyeknek földfelszíni- vagy űrtávcsöves megfigyelések iránti érdeklődéssel kell társulniuk. A kutatás nagy valószínűséggel együttműködést tesz szükségessé a Sheffieldi Egyetem (UK) Solar Physics and Space Plasma Research Centre (SP2RC) központjának kollégáival. Így a hallgatónak némi időt az SP2RC-nél kellene töltenie, Erasmus+ vagy egyéb megoldás keretében.

Témavezető: **Dr. Erdélyi Róbert**

PF4/445-18

Korszerű úridőjárás-előrejelzési módszerek fejlesztése

A flerek és koronakidobódások (CME-k) keletkezése az aktív régiók (AR) felett annak ellenére sem jól értett folyamat, hogy milyen fontos szerepe van a Nap-Föld kapcsolatban, így különösen az emberiség és a kifinomult technológiai rendszerek védelmében a Napról gyakran hirtelen távozó, nagy sebességű töltött részecskék jelentette veszéllyel szemben. A Naprendszer e legnagyobb energiájú kitörései a 11 éves napciklust követik. A ciklus maximumának elérésekor számos, veszélyesen nagy intenzitási osztályú fler és CME történik (kb. havi 2-3). Legtöbbjük a napfoltcsoportokat övező mágnesesen aktív régiókból származik. Az úridőjárás-előrejelzésbeli előrelépés érdekében a hallgatónak általánosítania kell az előrejelzési módszert. Ehhez azt az átmeneti régióra és az alsó-koronára szükséges 3D-ban alkalmaznia, hogy azonosítani lehessen a fler/CME kilövellés előrejelzéséhez tartozó optimális magasságot a naplégkörben. Ezáltal a jelenlegi előrejelzési lehetőségek jelentős megnövelése várható, ami nagy gyakorlati fontossággal bír technológia-uralta világunkban. A hallgató elsősorban a következő célkitűzésekkel végzi a kutatást: (i) a pre-fler/CME dinamika és a kapcsolódó fizikai folyamatok vizsgálata az AR-ek feletti topológia felépítése által 3D-s naplégkörben, (ii) ezek időfejlődésének követése WGM alkalmazásával. E feladatok



végrehajtása érdekében a hallgató (i) megismeri a potenciálú és a nemlineáris tér extrapoláció technikáit; (ii) elkészíti AR(-ek) 3D-s mágneses térképezésének adatbázisát, és (iii) új generációs, nagy tér- és időbeli felbontású napfolt-adatokat használ, melyeket földi- és űreszközök által készített magnetogramok, fehér fény és EUV megfigyelések kombinációja, többek közt az új Gyulai Napfizikai Observatórium használata biztosít.

A témához szükséges a földi- vagy űrtávcsöves megfigyelések készítése iránti érdeklődés. Ennélfogva valószínű, hogy a hallgatónak ilyen jellegű munkát kell végeznie földfelszíni napkutató obszervatóriumokkal. A kutatás valószínűsíthetően együttműködést igényel a Sheffieldi Egyetem (UK) Solar Physics and Space Plasma Research Centre (SP2RC) központjának kollégáival. Ennélfogva a hallgatónak némi időt az SP2RC-nél kellene töltenie, Erasmus+ vagy egyéb megoldás keretében.

Témavezető: **Dr. Erdélyi Róbert**

PF4/446-18

Napfáklyák fejlődésének vizsgálata a napciklus során

A Naplégkör fáklyáinak keletkezése és azok tulajdonságainak változása a 11 éves napciklus során annak ellenére sem jól ismert fizikai folyamatok, jóllehet a fáklyák fontos információkat szolgáltatathat a Nap globális mágneses tere fejlődéséről. A napciklus és a napfáklyák közötti kapcsolat egy rendkívül izgalmas kutatási téma, hiszen rávilágíthat az űridőjárást szabályozó globális mágneses tér és az azzal szorosan összefüggő napaktivitás-előrejelzés rejtett folyamataira. Ezáltal, a jelenlegi előrejelzési lehetőségek jelentős javulása várható, ami komoly gyakorlati fontossággal bír GPS-alapú modern, technológia-uralta világunkban.

A legtöbb napfáklya a napfoltcsoportokat övező mágnesesen aktív régiókból származik. Azonban, a napciklus időbeni fejlődése során, a fáklyák kialakulási helye migrál az egyenlítői régiókból a pólusok felé. Az így kialakult migrációs utak időbeli és térbeli koherenciákat is mutatnak, ami jelenleg egy teljesen új és feltérképezetlen kutatási terület.

A hallgató legfőbb célja ezen migrációs koherenciák statisztikus feltérképezése, megértése és modellezése. A hallgató elsősorban a következő célkitűzésekkel végzi a kutatást: (i) fáklyamigrációk topológiai struktúrája és azok kinematikai vizsgálata a Nap felszínén, ill. (ii) ezek evolúciójának analízise és modellezése.

E feladatok végrehajtása érdekében a hallgató (i) megismeri a szükséges szakirodalmat, különös tekintettel a Nap hosszútávú globális mágneses tere kialakulásának és fejlődésének modelljeire (dinamó elmélet, ill. a Nap mágneses tere új, kettős-dinamó elmélete); (ii) elkészíti egy napciklus során felbukkanó fáklyák adatbázisát; (iii) újgenerációs, nagy tér- és időbeli felbontású napfáklya-adatokat használ, melyek földi- és űreszközök által készített magnetogramok és fehér fény megfigyelések kombinációja. Utóbbit, többek között, az új Gyula-i Bay Zoltán Napfizikai Observatórium (GSO) Solar Activity Magnetic Monitor (SAMM) műszere biztosítja; ill. (iv) elemezi, értelmezi és modellezi a kapott adatokat a kettős-dinamó elmélet függvényében.

A témához szükséges a földi- vagy űrtávcsöves megfigyelések készítése iránti érdeklődés. Ennélfogva elvárt, hogy a hallgatónak ilyen jellegű munkát kell végeznie földfelszíni napkutató obszervatóriumokkal. A kutatás együttműködést igényel a Sheffieldi Egyetem (UK) Solar Physics and Space Plasma Research Centre (SP2RC) központjának kollégáival. Ennélfogva, a hallgatónak némi időt az SP2RC-nél kellene töltenie, Erasmus+ vagy egyéb megoldás keretében.



Izotópos módszerfejlesztés és alkalmazása természetes- és antropogén szénforrások azonosítására

A kutatás keretében a legkorszerűbb stabilizotóp és radiokarbon analitikai módszerekhez fejleszt mintavételi, minta-előkészítési és mérési eljárásokat, annak érdekében, hogy azonosítsa a különböző természetes- és emberi eredetű szénforrások jelenlétét a vizsgált közegekben. A vizsgálatok tervezett fő célpontjai a különböző szennyezetségű területekről származó talaj- és rétegvíz, a levegő illetve aeroszol, a növények valamint egyes ipari termékek és hulladékok. Ezeken belül egyes kémiai formák izotópanalitikai célú elválasztási technikájának módszerfejlesztésére is sor kerül. A munka célja a fosszilis-, radioaktív- és biológiai eredetű szénforrások eddigieknél pontosabb kvantitatív kimutatása a fenti közegekből, többek között az emberi szennyezés és hatásainak felmérése érdekében, illetve az üvegházhatású gázok légköri mennyisége időbeli alakulásának és térbeli eloszlásának jobb megismeréséhez. A munka keretében a kutatóhelyen bevezetésre kerül a gyorsító tömegspektrométeres (AMS) radiokarbon mérések esetében a gázionforrásos módszer alkalmazása a fenti mintatípusokra, ami lehetővé teszi az 0,01-0,1 mg szénmennyiségek ¹⁴C mérését. A szén-dioxid mellett, a légköri metán és szén-monoxid stabilizotópanalízise érdekében bevezetésre kerülnek lézerspektroszkópiai (Cavity Ring-Down Spectroscopy) módszerek is a laboratóriumban.



V. Részecskefizikai program

Témavezető: **Dr. Dávid Gábor**

PF5/424-02

Semleges mezon keltse Au+Au ütközésben a RHIC rendszeren (BNL, USA)

Az első év során a Relativisztikus Nehézion Ütköztetőn (RHIC, BNL) mért adatokból a π^0 -keltés jelentős csökkenése figyelhető meg nagy transzverzális impulzusoknál. Ez az eredmény nagyon különbözik attól, amit alacsonyabb energiákon észleltek korábban (AGS, SPS) és ez jelentős elméleti kutatásokat indított el. A doktorandusz feladatai: a RHIC második éves működésétől kezdődően gyűjtött adatok analízise, a π^0 - és η -ra vonatkozó hatáskeresztmetszetek kiértékelése a lehető legnagyobb transzverzális impulzusértékekig, az adatok összehasonlítása a legmodernebb elméleti eredményekkel. A jelöltnek részt kell vennie az adatgyűjtésben, a hitelesítésben és a PHENIX detektorrendszer elektromágneses kaloriméterének általános működtetésében, fejlesztésében.

Témavezető: **Dr. Dávid Gábor**

PF5/425-02

A direkt fotonok forrásai nehézion-ütközésekben a RHIC-rendszeren (BNL)

A Brookhaven National Laboratory (BNL, USA) területén működő Relativistic Heavy Ion Collider ütköztető korábbi eredményei megmutatták, hogy p+p ütközéseknél a direkt fotonok keltése a kettős nukleon-nukleon ütközésekkel skálázható. Mindazonáltal, az elméleti számítások, valamint az adatok részletesebb vizsgálata felveti annak lehetőségét, hogy ez sérülhet minden pT transzverzális impulzusnál: kis pT esetén termikus keltéssel, közepes pT-re kvark fékezési sugárzással és jet-foton konverzióval, végül a nagy pT tartományokban izospin effektusokkal és/vagy a szerkezet-függvények módosulásával. A jelölt feladata lesz olyan módszerek kidolgozása a PHENIX-detektor elektromágneses kaloriméterének méréseit felhasználva, amelyekkel a különböző forrásokból (keltési mechanizmusokból) eredő és a direkt foton-spektrumhoz adódó járulékokat el lehet különíteni egymástól. Elvárás továbbá, hogy résztvegyen az adatgyűjtésben, a kalibrációban és a PHENIX elektromágneses kalorimétere általános karbantartásában, valamint a kísérlet számára szükséges általános szoftver fejlesztésben.

Témavezető: **Dr. Dávid Gábor**

PF5/426-02

A kvark-gluon plazma megjelenési formáinak keresése Au+Au ütközésben a RHIC rendszeren (BNL, USA)

Az első év során a Brookhaven National Laboratory Relativisztikus Nehézion Ütköztetőjén (RHIC) nyert adatok sok olyan idegesítően izgalmas eredményt hoztak, amelyek a kvark-gluon plazma lehetséges kialakulására utalnak Au+Au ütközésekben. Ugyanakkor ezek az eredmények eddig még nem alkottak koherens, meggyőző képet. Nagyon sok nyitott kérdés maradt mind elméleti, mind kísérleti oldalon. A jelölt feladatai: olyan módszerek ki-munkálása, amelyek nagyobb statisztikai megbízhatósági szinten korrelálják a különböző kísérleti szignaturákat az elméleti elképzelések megerősítésére vagy elvetésére. A doktorandusznak részt kell vennie a PHENIX kísérlet adatgyűjtési tevékenységében, hozzá kell járulnia az általános és detektor-specifikus szoftverfejlesztéshez, továbbá a várakozásnak



megfelelő nagy intenzitású nyalábon végzendő adatgyűjtéshez elengedhetetlen másod- és harmad-szintű trigger-algoritmuskon kell dolgoznia.

Témavezető: **Dr. Trócsányi Zoltán**

PF5/428-02

Sugárzási korrekciók számolása perturbatív QCD-ben

Az elemi részecskék erős kölcsönhatását leíró elméleti keret a kvantumszíndinamika(QCD). A QCD aszimptotikusan szabad elmélet, ami lehetővé teszi, hogy a nagyenergiájú részecskék kölcsönhatásai leírásakor perturbációs számítást használjunk. Az erős csatolás nagy értéke miatt azonban a Born közelítésben tett jóslatok meglehetősen pontatlanok. Ahhoz, hogy elegendően pontos elméleti jóslatot tegyünk, a folyamatok többségéhez elengedhetetlen a sugárzási korrekciók figyelembevétele. A javasolt kutatási téma a fenomenológiai szempontból legérdekesebb folyamatokhoz (Higgs keltés, háttér Higgs kereséshez, jet fizika) a sugárzási korrekciók meghatározása.

Témavezető: **Dr. Trócsányi Zoltán**

PF5/438-08

Új részecskék keresése az LHC CMS detektorával

Az LHC-n a legnagyobb energiájú elemi (parton-parton) ütközések energiája el fogja érni a TeV tartományt, így az egyik legizgalmasabb új „részecske” ami az LHC-n keletkezhet elegendően nagy energia kis térrészre való összpontosításával a mikroszkopikus fekete lyuk. A $(4+n)$ -dimenziós Planck-skálánál nagyobb tömegközépponti energiájú parton-parton ütközések egy része $(4+n)$ -dimenziós gravitációs kölcsönhatásként tekinthető. Az irodalomban léteznek olyan numerikus szimulációk, amelyek szerint ebben az esetben a mikroszkopikus méretű fekete lyukak keletkezésének valószínűsége nagy. A keletkező fekete lyuk Hawking-sugárzás révén mindenféle szokásos SM részecskébe pillanatszerűen elbomlik. A bomlástermékek tanulmányozásából következtetni lehet az extra dimenziók számára. Bár a folyamatok jelenlegi elméleti megértése meglehetősen bizonytalan, fekete lyukak keletkezését leíró esemény-generátor hozzáférhető, amelynek segítségével lehet tanulmányozni a fekete lyukhoz vezető proton-proton ütközéseket. A kutatás célja az LHC CMS detektorán észlelt végállapotokban az extra dimenziók létezésére utaló részecskék keresése.

Témavezető: **Dr. Schram Zsolt**

PF5/439-08

Topológikus gerjesztések rácstérelméletekben és szerepük a kvarkbezárás mechanizmusában

A topológikus gerjesztések, pl. a mágneses monopólusok, vagy a vortexek fontos szerepet játszanak a rácstérelméletek fázis-szerkezetének kialakulásában és a kvarkbezárásban. Ezt az $U(1)$ modellre végzett analitikus és numerikus vizsgálatok egyértelműen igazolják. Nem-ábeli modellekben ugyanakkor még számos nyitott kérdés van ezzel a problémával kapcsolatban. Jelen kutatás során rácstérelméleti módszerek segítségével numerikusan tanulmányozzuk a kvarkbezárás vortex modelljét. A vortexek fizikai tulajdonságait vizsgáljuk először a legegyszerűbb, $SU(2)$ rácsmértékelméletben, $D=2+1$ dimenzióban. A legfontosabb kérdések a modellben, hogy hogyan azonosíthatjuk a vortexeket a rácson, valamint az így azonosított vortex konfigurációk milyen fizikai jellemzőkkel bírnak. Vizsgáljuk a vortexek és ábeli monopólusok lehetséges kapcsolatát a kvarkbezárás



jelen-ségének szempontjából. Számolásainkat általánosítjuk a $D=3+1$ dimenziós esetre valamint fizikailag érdekesebb $SU(3)$ mérték-elméletre.

Témavezető: **Dr. Horváth Dezső**

PF5/440-10

Anyag és antianyag egyenértékűségének vizsgálata a CERN Antiproton-lassítójánál

A fizika egyik nagy rejtélye, hova lett az Ősrobbanás után az antianyag, miért nincsenek a Világegyetemben antianyag-galaxisok. A CERN Antiproton-lassítója az anyag és antianyag egyenértékűségét kimondó CPT-invariancia elvének ellenőrzésére épült 2000-ben. Az ASACUSA japán-dán-magyar-német-olasz-osztrák együttműködés többféle kísérletben vizsgálja az antiproton tulajdonságait: méri az antiproton tömegét és mágneses momentumát antiprotonos hélium-atomokban nagy pontosságú lézerspektroszkópia alkalmazásával, illetve mérőberendezést készít elő antihidrogén-spektroszkópiára elektromágneses csapdában. A doktorandusz ezekbe a vizsgálatokba kapcsolódna be, követve korábbi magyar kollégáit. A magyar részvételt a K72172 OTKA-pályázat támogatja.

Témavezető: **Dr. Nándori István**

PF5/441-11

Fázisátalakulások vizsgálata renormálási csoport módszerrel

A renormálási csoport (RG) módszer a modern fizika egyik legeredményesebb és legdinamikusabban fejlődő ága. A módszer alkalmas arra, hogy a fizikai modellekben szisztematikusan távolítsuk el a kvantumfluktuációkat, és így megkapjuk annak alacsony energiás viselkedését. Ebből következtethetünk a modellek fázisszerkezetére.

A szimmetrikus fázis alacsony energiás leírása közismert. Azonban a szimmetriasértett fázis alacsony energián nehezen határozható meg, mert ott a RG egyenletek szingulárisává válnak. A probléma úgy tárgyalható, hogy olyan renormálási sémát választunk, ahol a szingularitás kezelhető. Egyrészt előfordulhat, hogy bizonyos sémákban a szingularitás meg sem jelenik, másrészt feltételezzük, hogy a szimmetriasértett fázisban egy infravörös fixpont van, ahol a modell csatolásai releváns módon skáláznak. Ennek segítségével a szingularitás közelében is meg tudjuk határozni a csatolások evolúcióját.

Célunk a csatolások skálázásának kiszámolása szimmetriasértett fázis fixpontjai közelében skaláris modellekben. Vizsgálni kívánjuk a modellek alacsony energiás viselkedését, és meghatároznánk a fázisátalakulást jellemző kritikus exponenseket. Ehhez a hullámfüggvény renormálás evolúcióját is figyelembe kell vennünk, de ez a renormálási csoport módszerrel konzisztens módon megtehető.

Témavezető: **Dr. Sailer Kornél, Dr. Nagy Sándor**

PF5/442-12

Nyílt kvantummechanikai rendszerek vizsgálata funkcionális renormálási csoporttal

A cél nem egyensúlyi, egyszerű, nyílt kvantummechanikai rendszerek kvantumtérelméleti módszerrel történő tárgyalása. Vizsgálható lehet állapotok koherens szuperpozíciójának környezeti hatás okozta dekoherenciája, fázisátalakulás vizsgálata a környezethez való csatolás, vagy a környezet hőmérsékletének változása hatására.

Számos olyan fontos, kísérletileg megvalósítható egyszerű kvantummechanikai rendszer van, amelyik jól modellezhető a kvantum Brown-mozgással: egy külső erő hatása alatt mozgó részecske csatolva van a környezetéhez. A környezet általában jól modellezhető



Caldeira és Leggett nyomán végtelen sok független kvantumoszillátor akár zérus hőmérsékletű, akár véges hőmérsékletű rendszerével. A funkcionális renormálási csoport módszer alkalmas arra, hogy egyrészt kezelje a külső erő hatása alatt mozgó részecske nem perturbatív viselkedését (pl. anharmonikus oszcillátor esetén), másrészt hogy a környezethez történő erős csatolás esete is tárgyalható legyen. A felvázolt általános modell alkalmas általában arra, hogy a klasszikus és a kvantumfizika közti átmenetet vizsgáljuk. Ennek egyik eszköze, hogy tisztázzuk a kvantum- és a termikus fluktuációknak a dekoherenciára gyakorolt hatását. A fluktuációk szisztematikus eltávolítását a funkcionális renormálási csoport módszerrel végezzük el. A környezethez történő csatolás erősségének és a környezet hőmérsékletének függvényében a modellnek egy új, szimmetriasértett fázisa jelenik meg. Feltételezzük, hogy ebben a fázisban egy infravörös fixpont van, ahol a modell skálázási tulajdonságai megváltoznak. A fixpont lehetővé teszi, hogy a szingularitás közelében is meg tudjuk határozni a csatolások evolúcióját. Vizsgálni kívánjuk a modell fázisait, és a fázisokat jellemző kritikus exponenseket. Ehhez a hullámfüggvény-renormálás evolúcióját is figyelembe kell vennünk, de ez a renormálási csoport módszerrel konzisztens módon megtehető.

Témavezető: **Dr. Kovács Tamás György**

PF5/443-13

Kvantum-színdinamika rácson

Az erős kölcsönhatás elméleti leírása a kvantum-színdinamika (QCD). Nemrégiben azt találtuk, hogy magas hőmérsékleten, amikor létrejön az ún. quark-gluon plazma állapot, a legalacsonyabb kvark állapotok térben erősen lokalizáltak. A jelenség analógiát mutat a szennyezett vezetők esetén régóta ismert Anderson lokalizációval. Részletesen szeretnénk vizsgálni a QCD-ben létrejövő lokalizált kvark sajátállapotok tulajdonságait és a spektrumban a lokalizált-delokalizált állapotok közötti átmenet természetét.

Témavezető: **Dr. Veszprémi Viktor**

PF5/444-14

Szuperszimmetrikus részecskék keresése az LHC CMS-detektorával

A CERN-ben található Nagy Hadron-ütköztető (LHC) 2009-es beindítása óta a világ legnagyobb részecskegyorsítója, amely protonok ütköztetésével mikroszkopikus robbanásokon keresztül új részecskéket hoz létre. Az így keltett részecskék milyenségéből és eloszlásából az anyag elemi építőkövei közötti alapvető kölcsönhatások fizikai törvényszerűségeire lehet következtetni. Az LHC kísérleteinek célja a Higgs-bozon pontos tulajdonságainak kimérése és a részecskefizika törvényeit jelenleg legsikeresebben összefoglaló standard modellen túlmutató fizikai törvények, mint például a szuperszimmetria elméletének, felfedezése. A gyorsító folyamatos fejlesztéseken megy keresztül, hogy egyre nagyobb ütközési energiákon egyre több adatot tudjon szolgáltatni. Következő, 2015 januárjában induló adatgyűjtési szakasza talán az LHC legfontosabb időszakának is tekinthető.

A Compact Muon Solenoid (CMS) egy általános célú részecskedetektor, amelyet új részecskék keresése céljából építettek. Közel két évtizede veszünk részt a CMS építésében és üzemeltetésében. Célunk a CMS töltött részecskéket nyomkövető rendszerének (ezen belül a Pixel detektorának) az LHC kihívásai szerinti továbbfejlesztése, valamint szuperszimmetrikus elmélet által jósolt részecskék keletkezésére utaló jelek keresése a CMS detektor által rögzített adatokban. A CMS nyomkövető berendezése alapvető szerepet játszik a szuperszimmetrikus folyamatok által keltett részecskék mérésében. A kutatást végző jelöltnek lehetősége lesz



együttműködni a Wigner Fizikai Kutatóközpont, illetve a svájci Paul Scherrer Institute kutatóival, és gyakori látogatást tenni a CERN-be.

Témavezető: **Dr. Somogyi Gábor**

PF5/445-15

Elemirész ütközések nagy pontosságú leírása

A szubatomi méretskálakon érvényesülő természettörvények felderítésének nagyon fontos eszköze a nagyenergiás elemirész ütközések megfigyelése és elméleti értelmezése. A Nagy Hadronütköztetőnél az alapvető elemirész ütközési folyamatokra — mint a hadronzapor, nehéz kvark, Higgs- illetve vektorbozon keltés — vonatkozó kísérleti mérések nagy pontossága megköveteli a hasonlóan precíz elméleti jóslatok kiszámolását. Az elméleti jóslat bizonytalanságának csökkentése szempontjából hasznos, sőt esetenként elengedhetetlen a kvantumszindinamikai második sugárzási korrekciók ismerete. A javasolt kutatási téma ezen sugárzási korrekciók kiszámítása fenomenológiailag alapvető fontosságú részecskeütközési folyamatokhoz.

Témavezető: **Dr. Nagy Sándor**

PF5/446-15

Funkcionális renormálási csoport módszer alkalmazása a kvantumelméletben

A cél a funkcionális renormálási csoport (RG) módszer alkalmazása kvantumelméleti modellekre. Az RG módszer a modern fizika egy széleskörben alkalmazott eszköze, amellyel főleg a vizsgált modellek fázisszerkezetét ismerhetjük meg. A fizikai modell nagy energiákon vett hatásából indulunk ki, és keressük az alacsony energiás viselkedést. A kvantumtérelmélet pályaintegrálos megfogalmazását használjuk, ahol maga a pályaintegrál a kezdeti- és a végállapotok között minden lehetséges pályát tartalmaz. Az egyes pályáknak a klasszikus trajektóriától való eltérései, mint kvantumfluktuációk vagy szabadsági fokok jelennek meg az elméletben, amelyeket szisztematikus módon figyelembe kell vennünk, ha valamilyen fizikai mennyiséget meg akarunk határozni. Ennek végrehajtására alkalmas eszköz az RG módszer. Az eljárás az effektív hatásra vonatkozó parciális differenciálegyenletre vezet, amit Wetterich egyenlet néven ismerünk. Az egyenletből a kölcsönhatásokat leíró csatolások (energia-)skalárfüggését határozhatjuk meg. Ebből következtethetünk a modell alacsony energiás viselkedésére, fázisszerkezetére vagy akár a megjelenő dekoherenciára is. Az RG módszert skaláris modelleken (pl. d -dimenziós $O(N)$ -modell, sine-Gordon-modell), mértékelméleteken (pl. kvantum-elektrodinamika) vagy a kvantum Einstein gravitációs modellen fogjuk alkalmazni.

Témavezető: **Dr. Schram Zsolt**

PF5/447-15

Nem-ábeli rácstérelméletek termodinamikája

A nagyenergiás nehézion ütközésekben kvark-gluon plazma kialakulása várható. Jelenleg az elméleti fizika egyik centrális kérdése ezen ütközések leírása, valamint a kvark-gluon plazma képződésének kimutatása. Nem-ábeli mértékelméletekben elsősorban a termikus egyensúlyban levő nagykanonikus sokaságra végzett számítások mutatták egy kvark felszabadító fázisátalakulás létezését véges hőmérsékleten. Ugyanakkor nyilvánvaló, hogy a nagykanonikus sokaság zérus barionsűrűséggel történő alkalmazása a probléma leegyszerűsítését jelenti. A véges sűrűséggel végzett számítások viszont elvileg sem



egyszerűek, és velük kapcsolatban több probléma megoldásra vár. Kutatásunkban rácstérelméleti vizsgálatokat végzünk különböző mértékelméletekre egy olyan új módszerrel, melynél a szokásos kanonikus eloszlás helyett a nagy energiákon hatványfüggvényszerű viselkedést mutató Tsallis-eloszlást alkalmazzuk a szimulációban. Ez az újszerű megközelítés formálisan a hagyományos termikus egyensúlyi (exponenciális) valószínűségi eloszlás helyett egy Gamma eloszlás szerint fluktuáló hőmérséklet bevezetésével ekvivalens. Célunk a vizsgált rendszerek fázisszerkezetének feltérképezése ill. az állapotegyenletek meghatározása.

Témavezető: **Dr. Nándori István**

PF5/448-16

Kompaktság, differenciálhatóság és renormálás

Kvantumtérelméleti modelleket klasszikus szimmetriaelvekre alapozva definiálunk. A kvantálás és relativisztikus leírás együttes alkalmazása azt eredményezi, hogy a modellek paraméterei skálafüggővé válnak és a mérésekkel történő összehasonlítás úgynevezett renormálást követel. Vagyis ahhoz, hogy mérhető mennyiségeket származtassunk és ehhez meghatározzuk a mikroszkópikus modell alacsony energiás effektív elméletét, végre kell hajtani a renormálás programját.

Nagy extra dimenziós gravitációs modellek, például Randall-Sundrum (RS) elmélet esetén az extra külső tér, míg például réteges szupravezetők vortex dinamikáját leíró térelméleti modellekben maga a térváltozó (mező) kompakt. Továbbá, az RS modellekben a branon-gerjesztések leírására alkalmas effektív elmélet a térváltozó nagyságától függ, csakúgy mint az úgynevezett $O(N)$ szimmetrikus sine-Gordon modellben, azaz megjelenik egy nem-differenciálható potenciál. Jelen kutatási téma célja a kompaktság és differenciálhatóság, renormálásra gyakorolt hatásának tanulmányozása a funkcionális renormálási csoport módszer keretében.

Témavezető: **Dr. Ujvári Balázs**

PF5/449-16

Neutrínó tömegének meghatározására kísérleti elrendezés szimulálása

A hallgató elsődleges feladata a témában született és publikált kísérleti javaslat (U. D. Jentschura, D. Horvath, S. Nagy, I. Nandori, Z. Trocsanyi, B. Ujvari, Int. J. Mod. Phys. E23 (2014) 1450004) szimulációjának folytatása. GEANT4 keret-rendszerben fogja modellezni a gyorsított részecskenyalábot, a kölcsönhatását a céltárggyal, a keletkezett részecskék bomlását, a keletkezett neutrínók kölcsönhatását a detektorral. A detektor elektronikáját, kiértékelő rendszerét is szimulálni kell. Ezek alapján optimalizálni kell a paramétereket (nyalábméret, nyalábenergia, mágneses tér nagysága stb.) és a modern adatanalízis eszközeivel a szimuláció alapján határozza meg a várható neutrínótömeg-határt. Kiemelkedően fontos, hogy tanulmányozza a mai gyorsító és detektálási módszereket, és implementálni tudja az évek múlva várhatóan elérhető technológiákat.

Témavezető: **Dr. Ujvári Balázs**

PF5/450-16

Hardverfejlesztések a kísérleti részecskefizikában

A hallgató feladata két fő téma köré csoportosul:



1. Tesztelő műszer fejlesztése, üzemeltetése a 2021-től működő sPHENIX detektor elektromágneses kaloriméterének az érzékelői (szilícium fénysokszorozó, SiPM) működésének ellenőrzéséhez. A hőmérséklet, tápfeszültség és a sugárkárosodás függvényében kell meghatározni az erősítés mértékét. A SiPM érzékelőnek a jeleit feldolgozó digitalizáló egység lesz a trigger alapja. A munka elsősorban számítógépes szimulációk készítését jelenti, majd a digitalizáló egység tervének véglegesítése után egy, a szimulációval kapott paraméterek alapján a gyors, FPGA alapú, trigger elektronika tervezése, prototípus építése.
2. CMS Muon Endcap jelfeldolgozó és kiolvasó rendszere felújításakor besugárzási tesztekkel kell majd végezni. A hallgató feladata a sugárkárosodás szimulálása és a mérések elvének kidolgozása.

Ezenkívül a doktorandusz hallgató részt vesz még egyetemi hallgatói laboratóriumhoz kozmikus müont detektáló sokszálas kamra elkészítésében, kiértékelő algoritmusok megírásában.

Témavezető: **Dr. Kardos Ádám**

PF5/451-18

Numerikus programkönyvtár fejlesztése sugárzási korrekciók számításához a kvantum-színdinamikában

A kvantum-színdinamikában számolt sugárzási korrekciók kulcsfontosságúak a Nagy Hadronütköztetőben (LHC) vizsgált folyamatok pontos megértése szempontjából. A standard modell ellenőrzése és esetleges azon túl mutató fizika keresése csak ilyen korrekciók figyelembevétele mellett lehetséges. Jelenleg a legnagyobb kihívást a második sugárzási korrekciók számolása jelenti, aminek elvégzésére jelen pillanatban nem áll rendelkezésre minden szempontból kielégítő általános keretrendszer. A hallgató feladata hozzájárulás egy ilyen keretrendszer kidolgozásához, majd az elkészült rendszeren belül az LHC számára lényeges folyamatok programozása, továbbá a programot felhasználva a sugárzási korrekciók kiszámítása.

