

## ATOMMAGKUTATÓ INTÉZET

4026 Debrecen, Bem tér 18/c, 4001 Debrecen, Pf. 51.

Telefon: 06-52-509200, Fax: 06-52-416181

E-mail: [director@atomki.hu](mailto:director@atomki.hu), honlap: <http://www.atomki.hu>

### I. A kutatóhely fő feladatai 2010-ben

Az intézet fő feladatai az alapító okiratban foglaltak szerint a következők: alap- és alkalmazott kutatások folytatása az atommagfizikában, az atomfizikában és a részecskefizikában. Fizikai ismeretek és módszerek alkalmazása más tudományágakban (anyagtudomány és anyagvizsgálat, földtudományok és környezetkutatás, orvosi-biológiai kutatások) és a gyakorlatban. Az alap- és alkalmazott kutatásokhoz szükséges módszerek és eszközök fejlesztése. Közreműködés a posztgraduális képzésben és a felsőoktatás feladatainak ellátásában. Az alaptevékenységgel azonos területen kiegészítő tevékenység végzése.

### II. A 2010-ben elért kiemelkedő kutatási és más jellegű eredmények

#### II. a) Kiemelkedő kutatási és más jellegű eredmények

##### *Kvantumfizika*

A Bell-egyenlőtlenségek a természet bizarr, nemlokális természetét mutatják ki. Ezért fontos, hogy minél pontosabban, a kísérlet során előforduló technikai kibúvóktól mentesen lehessen érvényességüket kísérletileg igazolni. Két kibúvó van, amelyeket külön-külön kísérletileg sikerült már kizárni, de egy kísérleten belül a kettőt még nem. Az egyik oka, hogy az összefonódott fotonpáron végzett mérések során a fotondetektorok nem tökéletes hatékonyságúak. Az intézet kutatói kimutatták, hogy az aszimmetrikus esetben (amikor csak az egyik detektor 100%-os hatékonyságú) létezik olyan N-méréses Bell-egyenlőtlenségcsalád, melynek tagjaira N-dimenziós rendszerek esetén  $1/N$ -hez nagyon közeli fotondetektor-hatékonysággal is Bell-sértést érhetünk el; ugyanakkor a szimmetrikus Bell-kísérletben egy pár 4-dimenziós kvantumrendszer segítségével a detektorok hatékonyságának küszöbértékét 61,8%-ra sikerült lecsökkenteni. Ezen Bell-egyenlőtlenségek az eszközfüggetlen kvantumkulcsokat előállító protokollok szempontjából is fontosak.

A magszerkezet egyik örökzöld kérdése az, hogy az atommagok milyen mértékben fűrtösödnek, vagy mennyire tisztán maradnak meg héjmodell-szerkezetűnek. Mind a héj-, mind a fűrtmodell teljes bázissal rendelkezik, ezért bármely magállapotot kifejthetünk mindkettő szerint. Azok az esetek, ahol mindkét kifejtés bonyolult, a véges maganyag különböző fázisainak (és szimmetriáinak) felelnek meg. Kutatásaik során ezt vizsgálták, mikroszkopikus módszerek alkalmazásával, a  $^{20}\text{Ne}$  és  $^{24}\text{Mg}$  atommagok alapsávhoz tartozó állapotaira nézve. A „ $^{16}\text{O}$ +alfa-részecske(k)” állapotot egy folytonos paraméter változtatásával „ $^{16}\text{O}$ +nukleonok” típusú állapotba tudták átvinni. Az átmenet fizikai oka a spinpálya-kölcsönhatás változó erőssége. Azt találták, hogy mindkét esetben az ún. héjmodellszerű fűrtösödés, vagyis az  $\text{SU}(3)$  szimmetria valósul meg.

Összehasonlító elemzést végeztek három egzaktul megoldható PT-szimmetrikus potenciál aszimptotikus viselkedésére. E téma jelentősége, hogy hosszú, intenzív elméleti munka után 2010-ben igazolódott először kísérletileg a PT-szimmetria megvalósulása konkrét fizikai rendszerekben, beleértve annak elméletileg megjósolt spontán sérülését is. A kísérleti elrendezés olyan hullámvezetőkől állt, amelyeknek a PT-szimmetria által meghatározott emisszív és abszorptív tartományai is voltak. Ezek véges méretűek, ezért érdemes egzaktul megoldható példákon tanulmányozni hasonló elrendezésű rendszereket. Kimutatták, hogy a bár a PT-szimmetrikus Scarf II és Rosen-Morse II potenciálok valós komponense megegyezik, aszimptotikusan eltérő képzetes komponensük miatt alapvetően másként

viselkednek. A Rosen-Morse II esetében pl. a PT-szimmetria spontán sérülése egyáltalán nem következik be. A Scarf II potenciál ezzel szemben szinte minden tulajdonságában hasonló viselkedést mutatott a tőle igen eltérő jellegű PT-szimmetrikus Coulomb-potenciállal.

Az atommagok tömege, vagy az ezzel ekvivalens kötési energia fontos alaplmenység. Tömegmérésekkel tanulmányozhatjuk pl. az elhullatási vonalak környékén bekövetkező héjszerkezet-változást. A globális magtömegszámítások egyik módszere a Sztrutyinszkij féle mikroszkopikus-makroszkopikus modell. Alkalmazhatósága az ún. görbületkorrekciós eljárás hatékonyságától függ. Kutatóink két új görbületkorrekciós módszert fejlesztettek ki, és a hagyományos, polinomiális módszert is megjavították véges hatótávolságú súlyfüggvény bevezetésével. Az új módszerek stabilabbak, és jól alkalmazhatók a stabilitási sávtól távoli, valamint könnyű magokra is.

### *Részecskefizika*

2010. januártól kezdve folyamatosan működtették a CMS-műonkamrák helyzetmeghatározó rendszerét. Több, mint 3000 mérési ciklust teljesítettek, valamint két szervezett mérési kampanyban vettek részt (áprilisban és novemberben). Kidolgozták a CMS pixeldetektorának időzítését. Hozzájárultak a CERN CMS detektorán belüli hőmérséklet és páratartalom mérésére alkalmas mérőrendszer fejlesztéséhez. Tanulmányozták a szuperszimmetrikus részecskék keresését szolgáló eseményválogató vágásokat.

A hadronsugár-hatáskeresztmetszetek pontos számításához szükséges második kvantumszín-dinamikai sugárzási korrekciók meghatározását lehetővé tévő általános módszer fejlesztése során sikerült integrálniuk az iterált egyszeresen feloldatlan partonsugárzást leíró közelítő mátrixelemeket a két feloldatlan parton fázissterén.

Összehasonlították a kompakt, valamint nemkompakt tereken definiált kétdimenziós, multi-frekvenciás sine-Gordon (SG) modellek fázisdiagramjait. Megmutatták, hogy a kompakt és nemkompakt modellek nagyenergiás viselkedése megegyezik, de az alacsonyenergiás eltér. Így a kompaktság nem befolyásolja a kritikus frekvenciát, amelynél az SG-modell topológikus fázisátalakulást szenved, hiszen azt a nagyenergiás skálatörvények határozzák meg.

### *Magfizikai alap kutatás*

Az intézet kutatói megvizsgálták a különböző hasadási termékek  $\beta$ -erősséeloszlásait, melyek jelentős szerepet játszanak az atomreaktorok reaktorhőjének kialakulásában. A teljes  $\gamma$ -abszorpciós detektálási módszer, az IGISOL-technika, és a JYFLTRAP Penning-csapda együttes alkalmazásával először sikerült feloldaniuk a  $^{239}\text{Pu}$ -fűtőanyag kísérleti és elméleti reaktorhője között régóta fennálló ellentmondást. Az atomreaktorokban termelt teljes energia közel 30-40 %-a  $^{239}\text{Pu}$ -tól származik.

Az  $^{230}\text{U}$  és  $^{232}\text{U}$  atommagok tetraédes szimmetriájú, piramisszerű alakjára kerestek adatokat az intézet kutatói. Az atommagokat a kísérlet során ( $\alpha,4n$ ) és ( $\alpha,6n$ ) reakciókkal gerjesztették, és a keletkezett  $\gamma$ -sugárzás méréséből azt kapták, hogy a kérdéses sávra inkább oktapól vibráción alapuló szerkezet valószínűsíthető, nem pedig a keresett tetrahedrális magalak.

Először demonstrálták kísérletileg, hogy a relativisztikus (1 AGeV)  $^{238}\text{U}$  nyaláb fragmentációjakor keletkező  $^{192}\text{Pb}$   $J^\pi = 12^+$  izomer állapota kellően irányított (spin-alignment), és ez az irányítottság megmarad a radioaktív nyaláb szeparációja után is. Ez lehetővé teszi az állapot g-faktorának meghatározását. Az így meghatározott g-faktor jól egyezik a korábbi értékekkel.

A  $^{234}\text{Pa}$  atommag igazi hármas hasadására vonatkozó első kísérleti eredményeket publikáltak az intézet kutatói. A detektorok elhelyezésétől is függő hármas hasadás hozama  $\approx 10^{-5}$ -nek

adódott a normál hasadás hozamához képest. A legkönnyebb hasadási termék tömege pedig 20-40 a.m.u volt. Tárgyalják a megfigyelt jelenség és a klaszterbomlás kapcsolatát is.

A mágikus számú neutronot tartalmazó  $^{44}\text{S}$  atommagot nemzetközi együttműködésben vizsgálták a GANIL francia nemzeti nehézion-laboratóriumban. A magban egy 2,6  $\mu\text{s}$ -os izomer állapotot találtak, amelynek  $e^-$  és  $\gamma$ -bomlási sajátságából meghatározták az állapot impulzusmomentumát és deformációját. A kísérlet alapján megmutatták, hogy ezen mag alapállapotában megszűnik az  $N=28$  héjzáródás hatása, mert felcserélődik a normál és intruder állapotok sorrendje: az alapállapot lesz deformált, a normál, gömbszerű állapot pedig gerjesztett.

A  $^{36}\text{S}$  és  $^{208}\text{Pb}$  mélyen rugalmatlan ütközésében keletkező könnyű fragmensek szerkezetének a legnaroai laboratóriumban (Olaszországban) végzett vizsgálata során a mágikus neutronszámú  $^{33}\text{Si}$ -ban neutron intruder állapotokat mutattak ki, a  $^{38}\text{Cl}$ -ban a proton törzs gerjesztésére találtak bizonyítékot, a  $^{40}\text{S}$ -ben pedig az yrast állapotok energiáját határozták meg.

Az EUROBALL-IV detektorrendszerrel végzett mérés adataiból meghatározták a  $^{190}\text{Hg}$  szuperdeformált állapotainak az energiáját és spinjét, s ezáltal a magbéli kötési energiákat szuperdeformáció esetén. A kétproton-szeparációs energiákat a szuperdeformált állapotokban nagyobbak találták, mint a normáldéformált állapotokban. Ez a nem várt eredmény csak a kollektív kvadrupól módusokat is figyelembe vevő modellszámításokban reprodukálható.

A dél-afrikai iThemba LABS intézetben a  $^6\text{Be}$  bomlását tanulmányozták a szétrepülő „break-up“ részecskék energiájának és szögeloszlásának mérésével. A részecskék típusának és energiájának az Atomkiban készült detektorokkal történő egyidejű mérésére egy nagy helyzet-érzékenységű detektorrendszert használtak. A kapott adatokat 3-test rezonanciákra és 2-test szekvenciális bomlásokra vonatkozó számolásokkal összevetve elsőként mutatták ki, hogy a  $2^+$  állapot tiszta 3-test szerkezet, az e feletti állapotokat pedig 2-test bomlások jellemzik.

Az AFRODITE gammadetektor-rendszerrel megvizsgálták a  $^{152,154,155}\text{Gd}$  nem-yrast, közepes-spinű állapotait. Azt találták, hogy a  $^{152}\text{Gd}$ -ban és a  $^{154}\text{Gd}$ -ban a második  $0^+$  állapotra épülő sáv, amit korábban béta sávként azonosítottak, nem mutatja a béta sáv várt tulajdonságait. A  $0^+_2$  állapot egy második kvázirészecske-vákuum állapotként értelmezhető, amely saját gamma- és okkupól sávval rendelkezik. Ez az eredmény ellentmond a deformált atommagok második  $0^+$  állapotára vonatkozó, korábban általánosan elfogadott interpretációnak.

Megmérték a  $^{151}\text{Eu}(\alpha,\gamma)^{155}\text{Tb}$  és  $^{151}\text{Eu}(\alpha,n)^{154}\text{Tb}$  reakciók alacsony energiás hatáskeresztmetszetét. Az eredmények alapján javasolták az asztrofizikai p-folyamat számításokban a megfelelő reakciósebességek kettes faktorialó való csökkentését.

A csillagok hidrogénégése MgAl ciklusában kulcsszerepet játszó  $^{25}\text{Mg}(p,\gamma)^{26}\text{Al}$  reakcióban három asztrofizikai jelentőségű alacsony energiás rezonancia erősségét mérték meg a korábbinál nagyobb pontossággal.

Rugalmas alfa-szórás adatokból teljes reakció-hatáskeresztmetszeteket határoztak meg Coulomb-gát körüli energiákon. Nagy pontosságú mérésekkel mintegy két nagyságrenddel csökkentették a  $^{133\text{m}}\text{Ce}$  mag felezési idejének hibáját.

Mindkét stabil nitrogén izotóp protonbefogási hatáskeresztmetszetét mérték, és az eredményekből R-mátrix analízis segítségével extrapolálták az asztrofizikai energiatartományra.

A „trójai faló“ indirekt módszer segítségével asztrofizikai jelentőségű alacsony energiás rezonanciák erősségét határozták meg a  $^{17}\text{O}(p,\alpha)^{14}\text{N}$  reakcióban.

Összegyűjtötték és kritikailag kiértékelték az  $A=50$  tömegszámhoz tartozó összes ismert atommag szerkezetére vonatkozó új kísérleti adatokat. Az elemzés eredményeként minden atommag esetén összeállították az elfogadott adatok listáját. Az összegyűjtött, illetve az elfogadott adatokat az ENSDF internetes adatbázisban publikálták. A kiértékelő munkát elkezdték az  $A=129$  tömegszámra is.

#### *Magfizikai alkalmazások*

Elsőként határozták meg nanoporozus alumíniumoxid minta nanokapillárisainak irányeloszlását iontranszmissziós mikroszkópia segítségével. Diffrakciós rácsokat és mikro Fresnel lencsákat terveztek és készítettek protonnyalábos írásos technikával poli(dimetilsziloxán) polimerben (PDMS), majd vizsgálták az eszközök működését.

Az 1993-2010 közötti időszakra megállapították a kelet-magyarországi régióra jellemző légköri aeroszol összetételének és forrásainak hosszú távú tendenciáit és szezonális változásait. Az eddig ismeretlen eredetű Cl-tartalmú aeroszolnak 5 különböző forrását sikerült azonosítani. Megállapították, hogy a forgalmas utak mellett fekvő iskolákban és óvodákban magasabb volt a szálló por koncentrációja a WHO által javasolt egészségügyi határértékeknél.

Meghatározták a Vásárosnamény környékéről vett ártéri üledékek elemi összetételét ED-XRF, PIXE, F-AAS módszerekkel, e mellett vizsgálták a megemelkedett nehézfém-koncentráció növényvilágra gyakorolt esetleges toxikus hatását Sinapis Alba tesztel.

A Charisma EU FP7 I3 projekt keretében 2010 folyamán 7 külföldi kutatócsoportot fogadtak Európa különböző országaiból, és végeztek méréseket a vendégkutatók számára az Atomki pásztázó nukleáris mikroszondáján muzeológia és kulturális örökség megőrzése témakörében.

Az Aquincumi Múzeummal együttműködésben elsőként vizsgálták meg egy aquincumi millefiori (soksínű) régészeti üvegleletet SEM-EDX és micro-PIXE analitikai módszerekkel. Sikerült kimutatni a római és mezopotámiai üvegtészítési technikák együttes alkalmazását.

Megállapították, hogy a fényvédő kozmetikumok ZnO nanorészecskéi in vivo nem jutnak át az atópiás dermatitisz által érintett bőrön.

Mérési módszert dolgoztak ki szerves vékonyminták besugárzás hatására létrejövő hidrogénfogyás és így a molekulaszervezet károsodásának a real-time követésére. A módszerre alapozva meghatározták a kapton és mylar fóliák sugárzástűrését.

Kifejlesztettek egy olyan mérési elrendezést, amellyel szimultán lehet RBS-, ERDA- és PIXE-méréseket végezni fókuszált ionnyalábbal. Ezáltal lehetővé vált egy minta mélységi és térbeli elemeloszlásának kvantitatív meghatározása  $Z \geq 1$  elemekre mikroszkopikus szinten.

Dél-afrikai együttműködésben megoldották a  $^{103}\text{Pd}$  termo-kromatográfiás elválasztását ródiom céltárgyból. Indiai kutatókkal közösen szelén vizsgálatát kezdték el magyarországi talaj- és növénymintákban. A Debreceni Egyetemmel együttműködve pedig napraforgó- és kukoricakultúrák szelénfelvételét tanulmányozták.

A paksi atomerőmű radioaktív hulladékaiban előforduló, nehezen mérhető béta-sugárzó  $^{36}\text{Cl}$  radioizotóp radiokémiai mérésére dolgoztak ki új módszert ICP-MS alkalmazásával.

Cu- és Cr-módosított SBA-15 mezopórusos szilikát katalitikus tulajdonságát tanulmányozták  $^{11}\text{C}$ -radioizotóppal jelzett metanol reagens konverziójával. Az eddig alkalmazott módszerüket továbbfejlesztett formában alkalmazták, hogy információt nyerjenek a gyenge és erős kötések számáról és mértékéről a katalizátor felületén.

Ir radioizotópok előállításának körülményeit vizsgálták dúsított  $^{192}\text{Os}$  céltárgyon végbemenő protonindukált magreakciók segítségével. A radioizotópokat előállító magreakciók hatáskeresztmetszet-adatainak mérését az  $E_p < 66$  MeV energiatartományban nemzetközi együttműködés keretében végezték (iThemba, Dél-Afrika).

Izotópok orvosi alkalmazására nemzetközi együttműködésben kaptak adatokat a  $^{114\text{m}}\text{In}$ ,  $^{167}\text{Tm}$ ,  $^{177}\text{Lu}$ ,  $^{131}\text{Cs}$ ,  $^{117\text{m}}\text{Sn}$  terápiás, és a  $^{123}\text{I}$ ,  $^{113\text{m}}\text{In}$ ,  $^{111}\text{In}$  diagnosztikai izotópok előállítására.

Adatbázist készítettek a NAÜ részére a vékonyréteg-aktivációs technikában leggyakrabban használt töltött részecske-indukált magreakciók gerjesztési függvényeire és azok alkalmazására besugárzások tervezéséhez, valamint deutronindukált magreakciók aktivációs hatáskeresztmetszeteire a nemzetközi termonukleáris kísérleti reaktor (ITER) programmal kapcsolatos fúziósanyag-besugárzó berendezés (IFMIF) tervezéséhez és működéséhez.

Ipari és biológiai folyamatok vizsgálatának területén a  $^{133}\text{Ba}$  radioizotóp előállításának körülményeit vizsgálták protonokkal Cs céltárgyon végbemenő magreakciók segítségével.

Monte Carlo-szimulációk és kísérletek útján pontosították egy NE-213 folyadékszintillátoros neutrondetektorra az energiafeloldás neutronenergiától való függésére vonatkozó korábbi leírást  $E_n \leq 18$  MeV neutronenergiákra.

Neutronreflexiók mérésekkel igazolták, hogy a saját fejlesztésű epitermikus neutron-analizátor (ETNA) alkalmasabb a plasztik robbanóanyagok, repülőtéri csomagok és konténerek ellenőrzésére, mint a termikus neutronokat alkalmazó detektor rendszerek.

Klasszikus molekuladinamikai módszerrel szimulálták az atomkilökődési kaszkádok psec skálán végbemenő időbeli, térbeli fejlődését berillium kristálynál (hcp-Be) és  $E_{PKA} \leq 80$  eV atomkilökődési energiáknál.

Az osztrák AC2T intézettel a kopás, a korrózió és erózió radioizotópos vizsgálatát szabad forgalmi határ alatti aktivitásokkal sikerült megvalósítani. Új izotópokat fejlesztettek ki az Fe, Cu alapanyagokat nem tartalmazó minták vizsgálatához, valamint németek kutatókkal közösen kidolgozták az Sb-120m izotóp használatát ónt tartalmazó alapanyag méréséhez.

Megkezdődött a PHARMATOM projekt keretében a gyógyszerkutatói feladatokat megvalósító radiokémiai labor felújítása és felszerelése.

#### *Atomfizikai alap kutatás*

100 keV-es  $\text{He}^{2+} + \text{He}$  ütközésben vizsgálták a kétszeres ionizáció jelenségét. A folytonosan torzított hullámú közelítésben elvégzett számítások szerint az emittált elektronok energia- és szögeloszlásának kialakulásában a végállapotú elektronkorreláció játsza a fő szerepet. Vizsgálták a lövedékion folytonos energiájú állapotaiba történő elektronbefogódás, az ún. két-elektronos cusp folyamatát is, melyet korábban az Atomkiban sikerült kísérletileg kimutatni. Végül, 75 keV-es  $p + \text{H}$  ütközésben vizsgálták a háromtest szétesési (breakup) folyamat dinamikáját. A klasszikus pályaszámításos Monte Carlo (CTMC) módszerrel elvégzett analízissel az irodalomban nemrég közölt mérési adatokat értelmezték.

Többszörösen differenciális hatáskeresztmetszeteket számoltak klasszikus (CTMC) és kvantummechanikai közelítésben antiproton és hélium atomok ütközésében az ún. anti-cusp elméleti kimutatására. Igen kis energiájú (2-11 keV) antiprotonok és hidrogénmolekula ütközésében elsőként mértek ionizációs hatáskeresztmetszeteket. Azt a meglepő eredményt kapták, hogy a hatáskeresztmetszet kis antiproton energiáknál a lövedék sebességével arányos.

A University College London (London) Fizikai Tanszékén folytatták annak a mérőrendszernek a kifejlesztését, amellyel pozitron-atom ütközésekben a meglökött céltárgy-atommag energia- és szögeloszlását tervezik meghatározni. Molekuláris ütközések vizsgálatára alkalmas új mérőhelyet terveztek és építettek Debrecenben a VDG-5 nyalábcatornáján.

Elméletileg tanulmányozták a  $\text{C}^{2+} + \text{HF} \rightarrow \text{C}^+ + \text{HF}^+$  és  $\text{H}^+ + \text{CH} \rightarrow \text{H} + \text{CH}^+$  töltés-

kicserélődési reakciókat. Kimutatták, hogy a folyamatok hatáskeresztmetszete erősen függ az ion–molekula orientációtól. A  $H^+ + CH$  ütközés esetében azt kapták, hogy a Franck-Condon közelítés, és a rotációs és vibrációs effektusokat pontosabban leíró "sudden approximáció" hasonló töltés-kicserélődési hatáskeresztmetszeteket ad. A vizsgálatok az indirekt sugárkárosodási folyamatok jobb megértését segítik, hasznosulásuk a sugárterápiában várható. Ugyancsak ebből a szempontból jelentős, hogy  $H^-$ -ionokat sikerült azonosítani a néhány keV energiájú  $OH^+ + Ar$  és  $OH^+ + CH_3COCH_3$  ütközések fragmentumainak mérése során.

Hidrogénatom, valamint vízmolekula ionizációját vizsgálták lineárisan polarizált lézertérben többféle elméleti közelítésben. A klasszikus CTMC, a QM-erőstér és a Coulomb-Volkov közelítések eredményeit az időfüggő Schrödinger-egyenlet egzakt megoldásával vetették össze.

Méréseket végeztek az elektron-ciklotronrezonanciás (ECR) ionforrás plazmájából kilépő elektromágneses sugárzás látható fény és röntgen tartományában. A nagyfelbontású fotók egymással és számítógépes szimulációkkal való összevetéséből értékes információkat kaptak a plazma elektronkomponenséről és az ionok csapdázásáról. Az ECR ionforrás működési tartományát kiterjesztették nagyintenzitású negatív H, O, OH és  $C_{60}$  ionnyalábokra.

Kr  $4p$  fotoelektronok szögeloszlását mérték és vizsgálták elméletileg olyan fotonenergia-tartományban, ahol a  $3d$  elektronok rezonáns gerjesztése is lejátszódik. A kísérleti és elméleti dipól anizotrópiaparaméterek eltérő fotonenergia-függéséből a direkt ionizáció és a rezonánsan gerjesztett Auger bomlási folyamat közötti interferencia fellépésére következtettek. Elsőként mutatták ki kísérletileg ilyen interferenciát elektromos kvadrupól ( $E2$ ) kölcsönhatásban.

Az Atomki ECR ionforrásánál mérték polietilén-tereftalát (PET) fóliában kialakított 200 és 400 nm-es kapillárisokon átjutott 3 keV-es  $Ar^{7+}$  ionok és az azokból semlegesítődés során keletkezett atomok szögeloszlását az idő függvényében. Az atomokra ez az első részletes vizsgálat. Korábbi kísérletekkel megegyezően szögeloszlásbeli oszcillációkat tapasztaltak az ionok kapillárisirányába történő terelődése során. Az atomoknál gyengébb, és fázisban eltérő oszcillációt találtak. Ezek alapján elemezték a semlegesítődés folyamatát.

Nemzetközi együttműködés keretében a Hollandiai KVI Zernike LEIF laboratóriumában  $Ne^{7+}$  ionok terelését vizsgálták a 100-400 nm tartományban különböző átmérőjű PET és polikarbonát fóliákban kialakított kapillárisokban. A két anyag ionterelési tulajdonságaiban nagy különbségeket figyeltek meg. Polikarbonát anyagnál a kapillárisok elzáródását is észlelték.

Elsőként mutatták meg kísérletileg, hogy makroszkópikus átmérőjű kapillárisok képesek a néhány száz elektronvoltos elektronok jelentősebb energiavesztés nélküli átvezetésére, még akkor is, amikor ezt a geometriai feltételek egyébként nem engednék meg.

#### *Atomfizikai és szilárdtestfizikai alkalmazások, felületkutatás*

Többfalú szén nanocső (MWCNT) hordozókra felvitt Pd és Pd-Au ötvözet nanokatalizátor felületeket különböző kezeléseknek (redukálás és hevítés) vetettek alá, majd elektronspektroszkópiai módszerekkel tanulmányozták őket. A felületi analízis megmutatta, hogy a vizsgált Pd/MWCNT katalizátorok nagyban eltérő katalitikus aktivitásai a redukálás, illetve a hevítés után a PdO/Pd nanorészecskéket borító amorf szénrétegnek tulajdonítható és a PdO réteg vastagsága nagyobb az inaktív katalizátor esetében.

Az élő és élettelen anyag kapcsolatának vizsgálata céljából alacsony energiájú (50-100 eV) fullerén ( $C_{60}$ ) ionnyalábbal fémek és szigetelők felületét vonták be, amelyeken (orvosokkal való együttműködésben) élő sejteket növesztettek. Komolyabb ráfordítás esetén a kutatás néhány éven belül szabadalmi, esetleg termékkészítési fázisig is eljuthatna.

$3d$  átmeneti fémekből (Cr, Mn, Fe, Co, Ni) szinkrotronsugárzással keltett  $1s$  fotoelektron-spektrumokat mérték, és a spektrumok analízisével és szimulációjával, valamint ab initio

számolásokkal elsőként mutatták ki, hogy a shake-up gerjesztésre utaló szatellit jelen van minden vizsgált átmeneti fém 1s spektrumában.

Hengeres szimmetriájú Al nanorudakban keltett elektron-lyuk pár által indukált plazmonok gerjesztési mechanizmusát vizsgálták a dielektromosfüggvény-közelítésben. Azt az eredményt kapták, hogy a lyuk jelenléte jelentősen hozzájárul a felületi plazmonok gerjesztésének teljes valószínűségéhez, és hogy az elektron és a lyuk felületi plazmon gerjesztési folyamatai, az intrinsic-extrinsic, vagy a háromlépcsős modelltől eltérően, nem tekinthetők függetleneknek.

Kiterjedt Monte Carlo-számítások segítségével gyors atomok és Al-felület kölcsönhatását tanulmányozták az atomok felülethez képest sűrű beesése mellett. Ezen speciális geometria esetében tesztelték az atom–felület közötti kölcsönhatási potenciált.

Ionporlasztással, elektrokémiai módszerrel, valamint kémiai gőzfázisú rétegleválasztással (CVD) előállított néhány 10 nm-től néhány 100 nm-ig terjedő vastagságú vékonyfilmszerkezeteket vizsgáltak szekunder semleges részecskét használó tömegspektrometriai (SNMS) módszerrel. Meghatározták a mélységi feloldás felületi durvaságtól való függését, továbbá az ionporlasztás hatását a felületi durvaságra. Kísérleti eredményeik modellezésével sikerült bebizonyítani, hogy az SNMS-módszernél lényegében a porlasztással kialakított kráter alakja és a vizsgált minta felületi durvasága képezik a mélységfeloldást meghatározó tényezőket. Elektrokémiai leválasztással készült FeCoNi ötvözetek vizsgálatából megállapították, hogyan változik a kialakuló rétegben az elemösszetétel a preferenciális kémiai leválás miatt a leválási folyamat kezdetén, az első néhány nanométeres vastagságban. Ionporlasztással és CVD-vel készített vékonyfilmekben a termikus diffúziós folyamatokat vizsgálták. Az SNMS-módszert napelemek szerkezetkutatásában is alkalmazták.

Elektrokémiai rétegleválasztásos technikával előállított ferromágneses-szupravezető rétegszerkezetek elektronvezetési mechanizmusát vizsgálták alacsony hőmérsékleteken a hőmérséklet és az elemösszetétel függvényében. Bár a jelenség már régóta ismert, az elektrokémiai rétegleválasztásos technikával előállított filmekben történt mérések újak számítanak a szakirodalomban. A filmek analízise a kémiai összetétel és a felület minőségének meghatározása céljából az SNMS-technika alkalmazásával történt.

A hyperthermia-terápiás módszerek témaköréhez kapcsolódva elméletileg vizsgálták egy mágneses nanorészecske Neél-disszipációs mechanizmussal vizes oldatban történő energiatermelésének hatékonyságát. Az eredmények kísérleti ellenőrzése folyamatban van.

Nanoporokat állítottak elő nagyenergiájú mechanikai őrléssel a 20-100 nm tartományban. XRD-módszerrel meghatározták a porok kristályszerkezetét és méreteloszlását.  $\text{Cu}_6\text{PS}_5\text{I}$  szuperionos kristályból kompozitokat és kerámiákat készítettek, és azok fizikai tulajdonságait vizsgálták (együttműködés a Debreceni Egyetemmel és az Ungvári Egyetemmel). GSO és LSO szcintillátor kristályoknál a szcintilláció szemcseméret-függését tanulmányozták.

A Debreceni Egyetem vékonyfilm-laboratóriumában porlasztással készült sokféle multiréteg (pl. In/SnO, Ni/Pd, Ag/Pd, Ni/Si  $\text{As}_{20}\text{Se}_{80}/\text{AlSiO}_5$ ) szerkezetét határozták meg XRD-technikával. A Ni/Si rendszeren végzett hőkezelésekkel az SNMS-módszerrel azonosított nanoskalájú határrétegben különböző Ni-Si-fázisok jelenlétét mutatták ki XRD- vizsgálatokkal.

Hazai múzeumok gyűjteményeiből származó régészeti leleteken XRF-vizsgálatokat végeztek, így pl. fémleleteket analizáltak a Jósza András Múzeum részére.

### *Környezetfizika*

Antarktisz minták K/Ar kormeghatározásra történő előkészítése és az analitikai munka elvégzése történt. Intruzív magmatizmus komplex vizsgálatát végezték el a Kárpát-Pannon Régióban. Új, a K-Ar kort befolyásoló efféktust fedeztek fel leucittartalmú bazalton, módszert találtak a hiba felismerésére és korrekciójára. A Cseh Masszívum harmadidőszaki

vulkáni fázisaira kidolgozott kronológiát pontosították. Megvizsgálták a növényzet és trágyázás hatását a talaj agyagásványainak K-Ar korára, így a K-Ar kormeghatározás szerepéhez juthat, mint talajdiagnosztikai módszer. Kisfokú metamorfitek kronológiáját határozták meg szlavóniai (Horvátország) kőzeteken.

Bevezették a rutinszerű mérési gyakorlatba az Atomkiban kifejlesztett új típusú, CO<sub>2</sub>-gázabszorpción alapuló folyadékszcintillációs C-14 mérést, és százas nagyságrendű mérést végeztek. Világviszonylatban is új típusú AMS mintaelőkészítési módszert dolgoztak ki a svájci ETHZ intézettel együttműködésben a kismennyiségű (széntartalom kisebb, mint 0,1 mg/minta) karbonátok és mélységi rétegvíz mérésére. Megtörtént a zártcsöves grafitizációs AMS céltárgyelőállítási módszer adaptálása, optimalizálása, átfogó tesztje, és a módszer rutinszerű laboratóriumi gyakorlatba vezetése az Atomkiban. A légköri fosszilis CO<sub>2</sub> tartalom közvetlen fizikai mérését végezték el Debrecen városában a 2009-2010 években.

Nagytisztaságú <sup>4</sup>He-es izotóphígítást vezettek be a trícium bomlásából származó <sup>3</sup>He tömegspektrométeres mérésének pontosítása céljából. Kilencéves, 585 csapadékminta stabilizotóp-összetételének ( $\delta^2\text{H}$ ,  $\delta^{18}\text{O}$ ) kiértékelését és a hazai csapadékvonal meghatározását végezték el. A Paksi Atomerőmű kéményéből áradó tríciumcsóva csapadékvíz általi kimosódását kísérletileg vizsgálták, modellszámításokat végeztek. Tanulmányozták a legutóbbi glaciális utáni klímaváltozást dél-alföldi vizek nemesgáz-hőmérsékleteire és a radiokarbon-korokra alapozva. Módszerfejlesztést hajtottak végre a cseppkövek folyadékzárvaiban lévő nemesgázok tömegspektrométeres mérése céljából.

Borospincékben végzett folyamatos radonméréseik értékeléséből meghatározták a pincék klímája szempontjából alapvető jelentőségű természetes szellőzési sebességeket. Szintén a radonmérések alapján kimutatták, hogy egyes pincék klímájának alakításában jelentős szerepe van a barometrikus pumpának, vagyis a barometrikus légnyomás változásai által a befoglaló kőzetből kipumpált gázoknak.

Módszerfejlesztést végeztek az Isotopech Zrt-vel együttműködésben a Radioaktív Hulladékokat Kezelő Közhasznú Nonprofit Kft. Kiegészítő Kazetták Átmeneti Tárolójában (Paks) elhelyezett üzemanyagkazetták gáztömörségének vizsgálatára és a tárolócsövek nyomgáz-elemzésére.

Különböző tölgyek, valamint hibrideik egyedeinek (20 fa) vízforgalmát vizsgálták a Debreceni Egyetem Síkfőkút Project területén végzett kísérletek során. Egyedülálló idősorokat kaptak a vízforgalmat meghatározó paraméterekre vonatkozóan, melyek sokparaméteres analízise a hazai tölgyesek klímaváltozásra adott válaszainak megértését segítik.

#### *Műszerek és gyorsítók*

Nemzetközi együttműködésben vizsgálták a gyártó által rendelkezésre bocsátott szilícium fotoelektron-sokszorozók (SiPM) sörétzaját a túlfeszültség függvényében. A mért amplitudóeloszlás-függvényt analitikus és numerikus módszerekkel szimulálták. Új megoldású, a SiPM-ek nagy kapacitásának hatását kiküszöbölő, alacsony disszipációjú áramkört fejlesztettek ki SiPM-ekből felépített 2D mátrix helyzetérzékelő kiolvasására. Több módszert dolgoztak ki SiPM fotodetektorok elektro-optikai és nukleáris karakterizálására

Új típusú digitális időzítési módszert dolgoztak ki a mintavételi időnél gyorsabb felfutású jelek esetére. A módszert sikeresen tesztelték LaBr<sub>3</sub> szcintillátorral az Atomki digitális jelfeldolgozó kártyájának alkalmazásával. CsI(Tl) alapú szcintillációs töltött részecske-detektorok alacsonyenergiás p- $\alpha$  diszkriminációs küszöbének csökkentése érdekében meghatározták a szilícium lavina fotodiódával (Si-APD) történő kiolvasás optimális feltételeit. Módszert dolgoztak ki nagy hossz/átmérő arányú pasztik szcintillációs neutron-detektorok nagy fénybegyűjtési hatásfokot biztosító optikai csomagolására. E



fejlesztések nemzetközi magfizikai kutatásokat segítő detektorrendszerek létrehozását célozzák (GANIL, Caen/FAIR, Darmstadt).

Félvezető detektorokban a sugárzás által keltett és már termalizálódott jeltöltések mozgásának 3D Monte Carlo-szimulációjához meghatározták a domináns szórási folyamatokat leíró törvényszerűségeket, a szórási gyakoriságokat, az irányeloszlásokat és a generálásukhoz tartozó véletlenszám-keltési algoritmusokat.

Digitális jelfeldolgozáson alapuló elektronikát fejlesztettek ki micro channel plate (MCP) elektronsokszorozóval felépített helyzetérzékeny detektorhoz.

Továbbfejlesztették a Cardiotom mobil tomográfias gamma kamerához tartozó képrekonstrukciós szoftvert, kiegészítve az algoritmust „resolution recovery” képességgel, amelynek segítségével a térbeli felbontás a detektortól távolabb lévő források esetén jelentősen javult.

Szoftvert fejlesztettek pozícióérzékeny gammadetektorhoz, amely képes 2D pozícióterképek, és energiaspektrum gyűjtésére, a kép szűrésére a kijelölt energiatartományban, valamint különböző régiókban az energiaspektrum meghatározására, továbbá az alkalmazott Hamamatsu pozícióérzékeny fotoelektron-sokszorozó inhomogenitásának korrekciójára is.

Elektronspektroszkópiai felhasználásra kifejlesztettek egy 6 csatornás, 0-10kV tartományban lebegtethető digitálisan vezérelhető precíziós 10 ppm stabilitású tápegységet, amelynél az alacsonyfrekvenciás zajkomponens kis értékét akkumulátoros üzem biztosítja. Folytatták a hardver és szoftver fejlesztést a PHENIX (RHIC, BNL) nagyfeszültségű vezérlőrendszerének a felújításához. Sokbemenetű FPGA alapú TDC-t, valamint nagysebességű UDP/IP transzport modult fejlesztettek különböző típusú detektorok jeleinek a feldolgozásához.

A p, d és alfa nyalábokat szolgáltató, számos alapkutatást és alkalmazást kiszolgáló 20 MeV-es ciklotron vezérlő rendszerében 2010-ben jelentős hardver és szoftverfejlesztések történtek.

## **II. b) Párbeszéd a tudomány és a társadalom között**

Az Atomki kutatási tevékenysége társadalmi célokat szolgál. Atommagfizikai alapkutatásuk egyik eredményeként pontosítani lehet az atomreaktorok fűtőelemeinek bomláshőjét. Megkezdték a szálló por szennyezettség felmérését iskolákban, óvodákban és munkahelyeken is. E kutatás információval szolgál a városi aeroszol lehetséges környezeti és egészségügyi hatásairól, és hasznos információt nyújt a környezetvédelmi hatóságok, az egészségügy és a társadalom számára is. Kopásvizsgálati és egyéb ipari feladatok megoldásával hozzájárultak az energiafelhasználást és a környezeti terhelést csökkentő módszerek kialakításához. Orvosi és gyógyszeripari fejlesztési projektjeik a lakosság egészségi állapotának javításához járulnak hozzá.

2010-ben 31-ik alkalommal rendezték meg a Fizikusnapokat. Az utóbbi évben a tehetséggondozó programok elterjedése a középiskolákban lehetővé tette, hogy nemcsak Debrecenből, Hajdú-Bihar megyéből, hanem a régió középiskoláiból is jöhessenek diákok. Látogatóik száma több mint 1000 volt 2010-ben, mikor a Fizikusnapok címe „Fizika és az orvostudomány” volt. Az előadások előtt és után lehetőség volt orvosi műszerek megtekintésére, kipróbálására is.

A kutatók éjszakáján nagy sikert aratott Az Elemi álm című tudományos szórakoztató film premierje. A film bemutatja az Atomkit, néhány laboratóriumot és azok sikereit, a fizikusok életét és nem utolsósorban a fizika szépségeit. A vetítést a nagy érdeklődésre való tekintettel meg kellett ismételni. A rendezvényen kb. 350-en vettek részt. A filmet levetítette a MTV „m1” csatornája, részleteket mutatott be belőle a Delta tudományos ismeretterjesztő műsor is. Két, az atomenergiát népszerűsítő rendezvény megszervezésében is részt vettek. Május 6-án került sor az Atomkiban „A Paksi Atomerőmű bővítésének lehetőségei” című rendezvényre, amelyen kb. 180 fő vett részt. Laboratóriumaik posztereken mutatták be a Paksi Atomerőmű

működését segítő tevékenységüket. Társszervezői voltak az „Atomenergiáról – mindenkinek” című országos, ismeretterjesztő, vándorkonferenciának is, amelyre csak a regisztrált látogatók száma 341 volt. Kutatóik szerepeltek a Delta tudományos magazinműsor adásaiban 2010-ben két alkalommal. Az Atomki kutatók, eredményeik, véleményük megjelentek egyéb, nem tudományos közleményekben is, a sepsiszentgyörgyi Erdély Hangja folyóirattól kezdve, a Debreceni Szemlén keresztül, a Gerundium Egyetemtörténeti Közleményekben, az ITD Hungary kiadványaiban, a Gazdasági Tükörkép Magazinban, Népszabadságban, Figyelőben. Kutatóik aktív tudományos publikációs tevékenységük mellett, ebben az évben is közöltek népszerűsítő cikkeket a Természet Világában, az Élet és Tudományban és a Fizikai Szemlében.

Fiatal kutatóik az intézet képviselőjében hozzájárulnak a Fiatalok a Nukleáris Energiáért egyesület tevékenységéhez, és képviselik az Atomkit konferenciákon, műszerbemutatókon és fesztiválokon – Campus fesztiválon Debrecenben, és a Sziget fesztiválon, Budapesten. Válaszoltak a fesztiválózó fiatalok kérdéseire, felhívták figyelmüket az energiapolitika, a klímaváltozás, a nukleáris energetika összefüggéseire, és felkeltették az érdeklődésüket a fizika iránt. A Sziget Fesztiválon a sátrukhoz látogatók a 15-féle tesztből 2100 darabot töltöttek ki. A tesztek kétharmada volt magyar, egyharmada 5 különböző nyelven volt elérhető.

### **III. A kutatóhely hazai és nemzetközi kapcsolatai 2010-ben**

Szerteágazó témarendszerben intenzív együttműködés folyik sok hazai és külföldi intézménnyel. Az állandóság mellett a folytonos megújulás is lényeges jellemző; a 2010-es évben került sor együttműködési megállapodás aláírására az Ukrán Tudományos Akadémia ungvári Elektronfizikai Intézetével, a RIKEN Nishina Tudományos Központtal, a Drezda-Rossendorf Kutatóközponttal. A Royal Institute of Technology, az Adolesco AB, a Debreceni Egyetem és két intézete, valamint az Atomki együttműködési keretmegállapodást kötött. A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemmel oktatási célú együttműködési megállapodást írt alá az intézet. Együttműködési megállapodás kötött az Atomki a Debreceni Egyetem Radiológiai Tanszékével is.

Az intézet kutatómunkájának minden területén széleskörűek a hazai együttműködések. Elmondható, hogy ezeknek a kapcsolatoknak jelentős része már évekre, évtizedekre visszamutat és szolgáltatja a biztos alapját, beágyazottságát a fizikai alap- és alkalmazott kutatásoknak az Atomkiban. Az együttműködések zöme az MTA RMKI, a Debreceni Egyetem (DE), az MTA AEKI, a BME, a Szegedi TE, a Miskolci Egyetem, a Veszprémi Egyetem, az MTA MFA, az MTA SZFKI, valamint az MTA Régészeti Intézete, a Budapesti Történeti Múzeum és a Magyar Nemzeti Múzeum munkatársaival közösen volt.

A 2010 évben indított, vagy megújított kutatási projektumok között a legjelentősebb hazai partnereik:

- atomfizika és alkalmazásai: a BME Kísérleti Fizikai Tanszéke, Alkaloida Kutató és Fejlesztő Kft., az MTA MFA és RMKI, az ISOTOPTTECH ZRt.,
- kondenzált rendszerek fizikája: az MTA SZTE Lézerfizikai Kutatócsoportja, a Veszprémi Egyetem Radiokémiai Tanszéke, az ELTE Magkémiai Intézete, TKI Ferrit Kft, Kémiai Kutatóközpont, a Kraft Projekt Zrt., a Szegedi TE, a Paksi Atomerőmű Zrt.;
- ionnyaláb-analitika: az MTA Pannon Egyetemi Levegőkémiai Kutatócsoportja, a Szegedi TE Régészeti Tanszéke, az Országos Környezet-egészségügyi Intézet, az Országos Meteorológiai Szolgálat, DEOEC Bőrgyógyászati Klinika;
- környezetanalitika és kormeghatározás: az ELTE, püspökszilágyi RHKT Kht., a MECSEKÉRC Környezetvédelmi ZRt., MecsekÖKO Környezetvédelmi ZRt., Fácies

Bt., Envicom 2000 Kft., Hydrosys Kft., Smaragd GSH Kft., Enviroinvest Kft., VIZITERV Environ Kft., Nyíregyháza, BME Nukleáris Technikai Intézete, ISOTOPTECH ZRt., Scopia Bt., AktAnal Bt., RadAnal Bt;

- a Pharmapolis Klaszter projektársaságaként megalapították a Pharmatom Hungaria Kft.-t, mely cég a korszerű PET-diagnosztikumok fejlesztését ambícionálja gyógyszerkipróbálások korai fázisban történő alkalmazásra.
- további projektársaság, amelynek munkájában részt vesznek az ICONO-Pharma Innovációs és Technológiai Szolgáltató Kft. azzal a céllal, hogy az innovatív gyógyszerfejlesztés és gyártás területén elkötelezett szolgáltatók számára magas minőséget garantáló K+F+I környezetet biztosítson.
- az Atomki aktív munkát végez az Űripari, valamint a Termál és Egészségipari klaszterek munkájában, valamint az intézet érdekszférájába tartozó – egészségipar, mechatronika és környezetanalitika – K+F+I területen. 6 kültaggal saját klasztert hozott létre Prizmatech névvel.

#### *Részvétel a felsőoktatásban*

Az intézet 2010-ben megtartotta korábban is betöltött szerepét a felsőoktatásban, a Debreceni Egyetemen fenntartott hagyományos kapcsolatait. Az Atomki kutatói a beszámolási időszakban meghirdetett 64 kurzus keretében 1033 tantervi óra megtartásával járultak hozzá a Debreceni Egyetemen (DE) folyó oktatáshoz. A gyakorlati órák száma a DE-n 2010-ben 528 volt 41 kurzus keretében. Az oktatásban összesen 35 kutató vett részt. A pregraduális képzésben elsősorban fizikus, fizika tanári, informatikus, programtervező matematikus, környezettan, környezettudományi, valamint környezetgazdálkodási agrármérnök szakos hallgatókat oktattak (előadások, speciális laboratóriumi gyakorlatok, diplomamunkák). A beszámolási időszak folyamán 14 PhD, 11 diplomamunkás és 7 TDK-hallgató dolgozott az intézetben, a témavezetésre fordított órák száma összesen 1948 volt.

A korábbi évek hagyományát követve az intézet a DE Fizikai Intézetével és Informatikai Karával közösen 2010-ben is meghirdette a *Nukleáris képzés* című tárgyat. A tárgykörben további fejlemény a BME és a Kolozsvári Bábcs-Bólyai egyetemekkel kötött oktatási együttműködés. A DE TTK kihelyezett Környezetfizikai Tanszéke helyileg az Atomki területén működik. A tanszék a csökkenő létszámú fizika szakos hallgatók mellett jelentős számú környezettan tanári, valamint környezettudomány szakos hallgató képzésében vesz részt.

#### **IV. A 2010-ben elnyert fontosabb hazai és nemzetközi pályázatok rövid bemutatása**

Az Atomki a legnagyobb volumenű támogatásokat nemzetközi téren az AC<sup>2</sup>T Research GmbH Austria, Alapítvány a Távközlési és Telematikai Felsőoktatásért, EGT Norvég Finanszírozási Mechanizmus - OTKA, ENIAC Call 2009, Európai Unió, IAVF, ÚT Battelle LLC (USA) szervezeteknél, hazai vonatkozásban pedig az Alapítvány a Távközlési és Telematikai Felsőoktatásért, az NFÜ, az NKTH, az NKTH – OTKA, az OTKA, a Paksi Atomerőmű Zrt. és a Radioaktív Hulladékokat Kezelő Kft. nevű szervezeteknél nyerte.

Az intézetnek 95 pályázata volt 2010-ben. Az alábbiakban felsoroljuk azt a 38-at, amelyeknél 10 millió Ft-nál nagyobb a teljes összeg, és megadjuk, hogy a pályázatból mekkora összeg az Atomkié, valamint hogy 2010-re ebből mennyi jut. A pályázatok időtartama 1-től 5 évig terjed, a leggyakoribb a 3-5 éves időtartam.

AC<sup>2</sup>T Research GmbH Austria: Kopásvizsgálat, 25440 EUR - 15540 EUR ||  
Alapítvány a Távközlési és Telematikai Felsőoktatásért: Mikrohullámokra alapozott

fejlesztési és kutatási tevékenységek, 30000 eFt – 30000Ft ||

EGT Norvég Finanszírozási Mechanizmus - OTKA: Városi aeroszol analízise Kelet-magyarország régióban, 14551 eFt – 3929 eFt ||

ENIAC Call 2009: A központi idegrendszer leképezése, 50100 EUR – 13917 EUR ||

NKTH: A központi idegrendszer leképezése, 67976 eFt ||

Európai Unió: Mesterséges gyémánt alapú sugárzásdetektorok fejlesztése sugárterápiás célokra, 34242 EUR – 10040 EUR || E+ E- Detektorfejlesztés 79500 EUR || EURATOM Fúziós Tréning, 149227 EUR || A jövő laboratóriuma az anyagtudományban és anyagmérnökségben, 95444 EUR – 23861 EUR || Trícium - oktatási program, 65000 EUR - 24000 EUR || Cseppkövek folyadékzárvaiban oldott nemesgázok, 45000 EUR – 11250 EUR || Felületi kopásvizsgálat, 82267 EUR – 5000 EUR || Kollektív gerjesztések atomi ionizációban félvezetőkben és biológiai szövetekben, 100000 EUR – 25000 EUR || Asztrofizikai p-folyamat szempontjából lényeges magreakciók vizsgálata, 750000 EUR – 159024 EUR || CHARISMA-program, 197000 EUR – 35040 EUR || Gammaspectroszkópiához kapcsolódó detektor- és elektronikai fejlesztés, 12000 EUR – 2427 EUR ||

IAVF: Kopásvizsgálat, 45793 EUR – 8100 EUR ||

ÚT Battelle LLC (USA): Mintakészítés, 37880 USD – 37880 USD ||

NFÜ: Épületek hővesztésének csökkentése, 71816 eFt - 71816 eFt || Komplex épületenergetikai fejlesztés, 342208 eFt – 119208 eFt || Az Észak-alföldi PRIZMATECH Debreceni Műszergyártó és Fejlesztő Klaszter Menedzsment, 30764 eFt ||

NKTH-OTKA: Magfizikai módszerekkel az elemek keletkezésének nyomában, 18000 eFt – 9000 eFt || Magasabbrendű effektusok vizsgálata atomoknál, 10000 eFt – 5022 eFt || Új fizika keresése a CMS detektorral CERN-ben, 29359 eFt – 14539 eFt || Gázionforrás és előkészítési módszerek fejlesztése környezeti mintáknál || 18747 eFt || A Napban lejátszódó  $3\text{He} + 4\text{He}$  reakció asztrofizikája, 24000 eFt – 12000 eFt || Debreceni LHC Grid központ, 65300 eFt – 65300 eFt ||

NKTH: Az összetevők kémiai állapotának meghatározása felületi rétegeknél, 71250 eFt – 71250 eFt || Újgenerációs, környezetbarát vékonyréteg napelemek, 40000 eFt – 10000 eFt || Multi-modalitású képalkotó-rendszer, 82112 eFt ||

OTKA: Szimmetriák a kvantummechanikai soktestproblémában, 11000 eFt – 2800 eFt || Alapvető kölcsönhatások és egzotikus magállapotok vizsgálata lézerekkel és részecsenyalábokkal, 23157 eFt – 6407 eFt || A Kárpátok vonulatát követő intruzív testek szerepe, 10660 eFt – 2787 eFt || Az atomi környezet hatása a rezonáns és nem rezonáns folyamatoknál, 16000 eFt – 4000 eFt || Sugárkárosodás szempontjából fontos atomi folyamatok, 12460 eFt – 2770 eFt || A nehéz elemek nukleoszintézise, 21998 eFt – 6940 eFt ||

Paksi Atomerőmű Zrt: Nehezen mérhető izotópok meghatározása folyékony radioaktív hulladékokban, 44932 eFt – 22798 eFt ||

Radioaktív Hulladékokat Kezelő Kft.: Püspökszilágyi RHT terül. vett körny. minták vizsgálata, 108788 eFt – 25990 eFt ||

## V. A 2010-ben megjelent jelentősebb tudományos publikációk

Algora A, Jordán D, Taín JL, Rubio B, Agramunt J, Perez-Cerdan AB, et al. (42), Krasznahorkay A, Hunyadi M, Gulyás J, Vitéz AC, Csatlós M, Csige L, Reactor decay heat in  $^{239}\text{Pu}$ : Solving the gamma discrepancy in the 4-3000-s cooling period, **PHYSICAL REVIEW LETTERS (ISSN: 0031-9007) 105: Paper 202501(4)**. (2010), IF: 7.328\*

Elekes Z, Vajta Zs, Dombrádi Zs, Aiba T, Aoi N, Baba H, et al. (23), Fülöp Zs, Kiss Á, Sohler D, Nuclear structure study of  $^{19,21}\text{N}$  nuclei by gamma spectroscopy, *PHYSICAL REVIEW C* **82**:(2) pp. 7305--4. (2010), IF: 3.477\*

Force C, Grévy S, Gaudefroy L, Sorlin O, Caceres L, Rotaru F, et al. (24), Dombrádi Z, Sohler D, Prolate-spherical shape coexistence at  $N=28$  in  $^{44}\text{S}$ , *PHYSICAL REVIEW LETTERS* (ISSN: 0031-9007) **105**: Paper 102501(4). (2010), IF: 7.328\*

Gyürky Gy, Elekes Z, Farkas J, Fülöp Z, Halász Z, Kiss GG, et al. (12), Somorjai E, Szücs T, Alpha-induced reaction cross section measurements on  $^{151}\text{Eu}$  for the astrophysical gamma-process, *JOURNAL OF PHYSICS G* (ISSN: 0954-3899) **37**: Paper 115201(15). (2010), IF: 2.124\*

Huszánk R, Szilasi S Z, Rajta I, Csik A, Fabrication of optical devices in poly(dimethylsiloxane) by proton microbeam, *OPTICS COMMUNICATIONS* **283**: pp. 176-180. (2010) IF: 1.316\*

Itagaki N, Cseh J, Ploszajczak M, Simplified modelling of cluster-shell competition in  $^{20}\text{Ne}$ , *PHYSICAL REVIEW C* **83** (ISSN: 0556-2813): Paper 014302(12). (2010), IF: 3.477\*

Juhász Z, Sulik B, Rácz R, Biri S, Bereczky RJ, Tókési K, et al. (9), Kövér Á, Pálinkás J, Stolterfoht N, Ion guiding accompanied by formation of neutrals in polyethylene terephthalate polymer nano-capillaries: Further insight into a self-organizing process, *PHYSICAL REVIEW A* (ISSN: 1050-2947) **82**: Paper 062903(7). (2010), IF: 2.866\*

Knudsen H, Torii HA, Charlton M, Enomoto Y, Georgescu I, Hunniford CA, et al. (15), Tókési K, Target structure induced suppression of the ionization cross section for very low energy antiproton-hydrogen collisions, *PHYSICAL REVIEW LETTERS* (ISSN: 0031-9007) **105**: Paper 213201(4). (2010), IF: 7.328\*

Lévai G, Arias JM, Search for critical-point nuclei in terms of the sextic oscillator, *PHYSICAL REVIEW C* (ISSN: 0556-2813) **81**: Paper 044304(11). (2010), IF: 3.477\*

Mohr P, Galavíz D, Fülöp Z, Gyürky G, Kiss GG, Somorjai E, Total reaction cross sections from elastic alpha-nucleus scattering angular distributions around the Coulomb barrier, *PHYSICAL REVIEW C* **82** (ISSN: 0556-2813): Paper 047601(3). (2010), IF: 3.477\*

Molnár M, Haszpra L, Svingor É, Major I, Svetlik I, Atmospheric fossil fuel  $\text{CO}_2$  measurement using a field unit in a Central European city during the winter of 2008/09 *RADIOCARBON* (ISSN: 0033-8222) **52**: (2-3) pp. 835-845. (2010), IF: 1.257\*

Nándori I, Nagy S, Sailer K, Trombettoni A, Phase structure and compactness, *JOURNAL OF HIGH ENERGY PHYSICS* (ISSN: 1126-6708) 2010: Paper 090069(25). (2010), IF: 6.019\*

Pál KF, Vértési T, Maximal violation of a bipartite three-setting, two-outcome Bell inequality using infinite-dimensional quantum systems, *PHYSICAL REVIEW A* **82**: p. 022116. (2010) IF: 2.866\*

Palcsu L, Major Z, Köllő Z, Papp L, Using an ultrapure 4He spike in tritium measurements of environmental water samples by the 3He-ingrowth method, **RAPID COMMUNICATIONS IN MASS SPECTROMETRY (ISSN: 0951-4198) 24**: pp. 698-704. (2010), IF: 2.695\*

Peter L, Csik A, Vad K, Toth-Kadar E, Pekker A, Molnar G, On the composition depth profile of electrodeposited Fe-Co-Ni alloys, **ELECTROCHIMICA ACTA 55**:(16) pp. 4734-4741. (2010), IF: 3.325\*

Rác Z, Biri S, Pálinkás J, Electron cyclotron resonance plasma photos, **REVIEW OF SCIENTIFIC INSTRUMENTS (ISSN: 0034-6748) 81**: Paper 020708(3). (2010), IF: 1.521\*

Rajta I, Gál G A B, Szilasi S Z, Juhász Z, Biri S, Mátéfi-Tempfli M, Mátéfi-Tempfli S, Nanochannel alignment analysis by scanning transmission ion microscopy, **NANOTECHNOLOGY 21**:(29) p. 295704. Paper 295704. (2010), IF:3.137\*

Ricz S, Ricsóka T, Hulse K, Borovik AJ, Bernhardt D, Schippers S, et al. (9), Kövér Á, Varga D, Interference effect in the dipole and nondipole anisotropy parameters of the Kr 4p photoelectrons in the vicinity of the Kr(3d)-1  $\rightarrow$  np resonant excitations, **PHYSICAL REVIEW A (ISSN: 1050-2947) 81**: Paper 043416(7). (2010), IF: 2.866\*

Sarkadi L, Classical trajectory Monte Carlo model calculations for ionization of atomic hydrogen by 75-keV proton impact, **PHYSICAL REVIEW A (ISSN: 1050-2947) 82**: Paper 052710(11). (2010), IF: 2.866\*

Stobinski L, Lesiak B, Kövér L, Tóth J, Biniak S, Trykowski G, Judek J, Multiwall carbon nanotubes purification and oxidation by nitric acid studied by the FTIR and electron spectroscopy methods, **JOURNAL OF ALLOYS AND COMPOUNDS (ISSN: 0925-8388) 501**: pp. 77-85. (2010), IF: 2.135\*

Stolterfoht N, Hellhammer R, Juhász Z, Sulik B, Bodewits E, Dang HM, Hoekstra R Guided transmission of 3-keV Ne<sup>7+</sup> ions through nanocapillaries in insulating polymers: Dependence on the capillary diameter, **PHYSICAL REVIEW A (ISSN: 1050-2947) 82**: Paper 052902(8). (2010), IF: 2.866\*

Tárkányi F, Ditrói F, Király B, Takács S, Hermanne A, Yamazaki H, et al. (9), Study of activation cross sections of proton induced reactions on barium: Production of <sup>131</sup>Ba  $\rightarrow$  <sup>131</sup>Cs, **APPLIED RADIATION AND ISOTOPES (ISSN: 0969-8043) 68**: pp. 1869-1877. (2010), IF: 1.094\*

Vértesi T, Pironio S, Brunner N, Closing the detection loophole in Bell experiments. **PHYSICAL REVIEW LETTERS 104**: p. 060401. (2010), IF: 7.328\*

Wang ZM, Chapman R, Liang X, Haas F, Bouhelal M, Azaiez F, et al. (39), Dombrádi Z Intruder negative-parity states of neutron-rich <sup>33</sup>Si, **PHYSICAL REVIEW C 81 (ISSN: 0556-2813)**: Paper 064301(7). (2010), IF:3.477\*

Wilson AN, Korichi A, Siem S, Astier A, Bazzacco D, Bednarczyk P, et al. (26), Nyakó BM, Timár J, Two-particle separation energy trends in the superdeformed well, **PHYSICAL REVIEW LETTERS (ISSN: 0031-9007) 104**: Paper 162501(4). (2010), IF: 7.328\*