

## ATOMMAGKUTATÓ INTÉZET

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

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

E-mail: director@atomki.mta.hu, honlap: <http://www.atomki.mta.hu>

### I. A kutatóhely fő feladatai 2013-ban

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. Az alaptervékenységgel azonos területen kiegészítő tevékenység végzése.

### II. A 2013-ban elért kiemelkedő kutatási és más jellegű eredmények

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

##### *Kvantumfizika*

A kvantumállapotok dimenzionalitása a kvantuminformatika egyik fontos erőforrása (kubitnál magasabb dimenziós rendszerek – pl. hibátűrő kvantumkapuk – implementálásában vagy egyes kvantumkriptográfiai protokollokban is jól hasznosítható). Az ún. dimenziótanuk segítségével egy ismeretlen fizikai rendszer dimenzióját becsülhetjük meg eszközfüggetlen módon, vagyis anélkül, hogy bármilyen feltevést is tennénk a kísérletben szereplő eszközök belső működéséről. Ezen munkában egy olyan általános dimenziótanút alkottak, amely tetszőleges kvantumrendszer dimenzióját képes jelezni. Módszerük a kvantumállapotok optimális megkülönböztethezőségének elvén alapszik, ezáltal kapcsolatot teremtve két látszólag független kutatási terület között.

A szóráselmélet felületiintegrál-formalizmusában alapvető szerepet játszik az ún. Coulomb-módosított síkhullám. Ez a függvény a szórási probléma aszimptotikus alakjában és a hatáskeresztmetszet kifejezésében is szerepel. Ennek a függvénynek parciális hullámokba való sorfejtését és aszimptotikus viselkedését vizsgálták. Sikeresült négy ekvivalens alakot találni, melyek lehetőséget adnak a függvényértékek gyors és pontos numerikus kiszámításra. Az aszimptotikus alakra eddig használt formulákat pontosították annak köszönhetően, hogy a függvényt ekvivalens formákba tudták felírni. Az aszimptotikus alak pontos ismerete révén egyszerűsíthetők a töltött részecskék szórásának leírására használt határfeltételek.

A magszerkezetnek egy új összetett szimmetriáját tárták fel, a sokcsatornás dinamikai szimmetriát (MUSY-t). Ez egy atommag különböző fűrtösödéseit (klaszterizációit) köti össze, például a  $^{28}\text{Si}$ -ban a  $^{24}\text{Mg}+^4\text{He}$  és az  $^{16}\text{O}+^{12}\text{C}$  konfigurációkat. (A csatorna a reakciócsatornára utal, ami meghatározza a klaszterkonfigurációt.) Kísérleti evidencia van arra nézve, hogy számos magban egyszerre vannak jelen különböző fűrtösödések. Az új szimmetria képes ezeket együttesen leírni. Ennél fogva komoly előrejelzések várhatók tőle; például az egyik klaszterspektrum teljesen meghatározhatja a másikat. A jelen munka a sokcsatornás szimmetria pontos matematikai háttérét és részletes fizikai tartalmát fejt ki.

A  $^{22}\text{Ne}$  atommag alfa-klaszter állapotait vizsgálták a félmikroszkopikus algebrai klasztermodell (SACM) keretében. Meghatározták a sáv szerkezetet, az energiaspektrumot, valamint az E2 és E1 átmeneteket, és összevetést végeztek a kísérleti adatokkal. Az

eredményeket szintén összevetették két mikroszkopikus modell (a DAMD és a GCM) eredményeivel. Azt találták, hogy az említett modellek által jóslott legfontosabb sávok közül mindnek van megfelelője az SACM-ben, illetve hogy a meghatározott spektroszkópai jellemzők igen jó egyezést mutatnak, különösen a pozitív paritású állapotok esetén. További sávokra is jóslatokat tettek, de a kísérleti adatok mennyisége nem elégséges ezek biztos azonosításához.

### *Részecskefizika*

2013-ban a CERN Kompakt Müonszolenoid (CMS) nevű detektornál dolgozó atomkís kutatók az LHC gyorsító 2013-14-es leállításának idejére tervezett feladatok végrehajtásában vettek részt. A CMS barrel müon kamrák helyzetmeghatározó rendszere felújításának és továbbfejlesztésének a célja hármas: a rendszer pontosságának további növelése, a twist-effect további vizsgálatának megteremtése és egyes kritikus elemek üzem közbeni javíthatóságának biztosítása. Technikailag ez azt jelenti, hogy a már meglévő 600 videoszenzor mellé még további 40-et szerelnek fel, melyek a MiniMAB merev struktúrákon foglalnak helyet. A rendszer kulcselemét alkotó 36 nagyméretű merev struktúrát (MAB) több és megbízhatóbb konstrukciójú céltárggyal látják el, melyek a CMS földmérő technikával való bezárása, sőt a mágnes bekapcsolása után is megfigyelhetők. A videoszenzorok kiolvasását végző miniszámítógépeket a CMS barrel gyűrűk belsejéből a perifériára helyezik át, mely a könnyebb hozzáférhetőség miatt szükséges.

A 2012-ben javasolt (és 2013-ban publikált) új, kompakt tartójú renormálásicsoport-regulátor prototípusa minden más egyéb eddig használt regulátorfüggvénynek. Végrehajtották az új regulátor optimalizálását, azaz paramétereinek „megfelelő” megválasztását, két független eljárás alkalmazásával. Egyrészt hagyományos optimalizálást használva, meghatározták a háromdimenziós  $O(N)$  szimmetrikus skalár modell kritikus exponenseit, a regulátor paramétereit úgy hangolva, hogy az egzakt (mérés útján kapott) kritikus exponensekhez legközelebbi értéket kapják. Másrészt kidolgoztak egy spontán szimmetriasérülésre épülő új optimalizációs eljárást, amit alkalmaztak sine-Gordon modell keretében.

Részletesen megvizsgálták a QCD Dirac-spektrum statisztikáját a mobilitási határ közelében. Azt találták, hogy a mobilitási határon fellépő kritikus statisztika ugyanazzal a deformált véletlen mátrix modellel írható le, mint az Anderson-modellben régebben talált kritikus statisztika. Ráadásul a mobilitási határ közelében elvégzett végesméret-skálázási analízis azt mutatja, hogy igazi másodrendű fázisátalakulásról van szó, amelynek univerzalitási osztálya megegyezik a megfelelő Anderson-modellben talált átmenetével. Eredményeikről két párhuzamos és egy plenáris előadásban számoltak be 2013 augusztusában a terület évente megrendezett legfontosabb konferenciáján, az "International Symposium on Lattice Field Theory"-n, melynek az idén több mint 500 résztvevője volt.

### *Magfizikai alapkutatás*

A  ${}^3\text{He}(\alpha, \gamma){}^7\text{Be}$  reakció kulcsszerepet játszik mind a Nap hidrogénégési folyamatában, mind az ősrobbanásban zajló elemszintézisben. Az eddig kísérletileg kevésbé vizsgált magasabb energiatartományban komoly ellentmondás mutatkozik két rendelkezésre álló adatsor között, ami jelentősen befolyásolja az asztrofizikai energiákra történő extrapolációt, s így növeli az asztrofizikai modellek e reakcióból származó bizonytalanságát. Egy, az Atomki ciklotron gyorsítóján aktivációs technikával kivitelezett méréssel új kísérleti adatokat szolgáltatottak a problémás energiatartományban, hozzájárulva ezzel az asztrofizikai modellek pontosításához.

Alfa-indukált reakciók alacsony, asztrofizikai energiákon történő vizsgálata azt mutatja, hogy a jelenleg rendelkezésre álló alfa – mag optikai potenciálok nem képesek kellő pontossággal leírni a kísérleti adatokat, ami jelentős bizonytalanságot eredményez például az asztrofizikai gamma-folyamat modellezésében. Az Atomkiban végzett szisztematikus rugalmas szórás kísérletek adataiból kiindulva ezért egy olyan új optikai potenciált fejlesztettek ki, melyet kimondottan az asztrofizikai energiatartományra optimalizáltak. Ezt, az úgynevezett Atomki-V1 potenciált, a jövőben továbbfejlesztik újabb kísérleti adatok bevonásával.

A GSI-ben a RISING kollaboráció keretében Coulomb-gerjesztés segítségével vizsgálták az  $^{104}\text{Sn}$  mag ún. kvadrupólkeményiségét, hogy tisztázzák a könnyű Sn-izotópok B(E2) szisztematikájában talált anomália eredetét. Megmutatták, hogy a  $^{104}\text{Sn}$  kicsit nehezebb szomszédjaival szemben lényegében követi a héjmodell által megjósolt trendet, bár a mérés hibája megenged egy kis többletdeformációt.

Az effektív proton-neutron kölcsönhatás erősségét tanulmányozták a nagyon gyengén kötött  $^{26}\text{F}$  atommagban egy GANIL-ban folyó együttműködés keretében. Azt találták, hogy az effektív kölcsönhatás gyengébb, mint a stabilitási sávhoz közeli magokban. Ezt fenomenologikus modellben a gyengén kötött neutron térbeli szétterülésével, csatoltcsomómodellben pedig háromtesterők hatásaként lehet értelmezni.

EU-támogatással, széles nemzetközi együttműködés keretében egy új neutron repülésiidő-spektrométert (European Low- Energy Neutron Spectrometer, ELENIS) építettek az Atomkiban, spin-izospin óriásrezonanciák radioaktív nyalábokban (p,n)-reakcióval történő vizsgálatára. A spektrométer  $10 \times 45 \times 1000 \text{ mm}^3$  méretű, különlegesen becsomagolt gyors plasztik szcintillátorhasábokból áll. Különleges tulajdonsága az inverz kinematikában végzett mérésekhez szükséges jó ( $< 1$  fok) szögfelbontás. A spektrométert jellemzőinek részletes tanulmányozása után már magfizikai kísérletben is sikeresen felhasználták.

Egy új módszert javasoltak az atommagok neutronbőr-vastagságának mérésére, ami az anti-analóg dipólus óriásrezonancia (AGDR) (p,n)-reakcióban történő gerjesztésén alapul. Az AGDR gerjesztési energiája érzékenyen függ a neutronbőr vastagságától, és így az AGDR energiájának mérésével a neutronbőr vastagsága meghatározható. Az AGDR-módszer sikeres tesztje megteremtette a lehetőséget számukra, hogy a módszert radioaktív nyalábokban egzotikus, neutrongazdag magokra is alkalmazzák. A neutronbőr-vastagság pontos mérése azért is fontos, mert ennek értéke meghatározza a magfizikai állapotegyenlet szimmetriáját, ami a neutroncsillagok és a nukleáris asztrofizikai szempontból fontos neutrongazdag anyag modellezéséhez is elengedhetetlen.

Az  $^{238}\text{U}$  fotoindukált hasadását vizsgálták a hasadási gát alatt a  $\gamma$ -energia függvényében monoenergiás, nagy intenzitású (fényességű) Compton-visszaszórással keltett  $\gamma$ -nyalábban. A kísérleteket a Duke Egyetem nagy intenzitású gammaforrásával (High Intensity  $\gamma$ -ray Source, Hi $\gamma$ S)  $E_\gamma=4,7$  MeV és  $6,0$  MeV közötti tartományban,  $\sim 3\%$  energiafelbontású  $\gamma$ -nyalábbal végezték. Hasadási rezonancia jellegű, nem túl nagy amplitúdójú rezonanciákat  $E_\gamma=5,1$  MeV és  $5,6$  MeV energiáknál figyeltek meg. A három minimummal rendelkező hasadási gát paramétereit a kísérleti eredményeknek az EMPIRE-3.1 magreakció-programmal történő illesztésével határozták meg. Ezek a mérések az ELI-NP-nél Bukarestben végzendő kísérletek előkészítésének is tekinthetők.

A  $^{58}\text{Ni}(^{36}\text{Ar}, 2p n \gamma)$  fúzió-párolgási magreakcióban  $111$  MeV nyalábenergiánál végzett kísérletben a  $^{91}\text{Ru}$  nagyspinű állapotaira nyertek információt az EXOGAM Ge detektorrendszerrel. A kísérletben számos új  $\gamma$ -átmenetet azonosítottak a  $^{91}\text{Ru}$  atommagban. A kibocsátott  $\gamma$ -sugárzás szögeloszlásának és lineáris polarizációjának mérésével meghatározták a nagyspinű állapotok spin- és paritásértékeit. Félempirikus héjmodell-

számításokat végeztek a  $^{91}\text{Ru}$  atommag gerjesztett állapotaira, és a kapott eredményeket összevetették a kísérletileg észlelt állapotokkal. A kísérleti és elméleti értékek közti jó egyezés azt mutatja, hogy a második ( $17/2^+$ ) és ( $21/2^+$ ) állapot a hármas szenioritású  $v(g_{9/2})^{-3}$  multiplietthez tartozó  $J_{\max}-2$ , illetve  $J_{\max}$  állapotoknak felel meg.

A  $^{150}\text{Sm}$  és  $^{152}\text{Gd}$  atommagok részletes  $\gamma$ -spektroszkópiai vizsgálatával tanulmányozták a  $0_1^+$  alapállapot és az első gerjesztett  $0_2^+$  állapot szerkezetét. Ezek ismerete fontos annak a megértéséhez, hogy a  $^{150}\text{Nd}$  kettős  $\beta$ -bomlása során milyen arányban bomlik a fenti állapotokba. A kísérletekben ( $\alpha, xn$ ) fúzió-párolgási magreakciókat és az AFRODITE, valamint a JUROGAM II detektorrendszereket használták. Mindkét atommagban új E1-átmeneteket észleltek a  $0_2^+$  sáv és az oktupól sáv között. Az E1-átmenetek relatív erősségeiből és a kísérletben kiterjesztett  $0_2^+$  sáv tulajdonságaiból azt a következtetést lehet levonni, hogy az alapállapotok kvadrupol deformált alakúak, míg a  $0_2^+$  állapotoknak emellett oktupól deformált komponense is van.

### *Magfizikai alkalmazások*

2013-ban négy mérésorozatot végeztek a CHARISMA EU FP7 projekt keretében, összesen 9 külföldi kutatót fogadtak Csehországból, Franciaországból és Lengyelországból. Meghatároztak elemeloszlást ősi hal-fülsontokban, valamint cseppkövekben, nyomelem-tartalmat barlangok falából vett mintákban, illetve elemösszetételt koravaskori ékszerekben. Ezenkívül korábbi mérési adatok kiértékelése, értelmezése és publikációja történt meg bolgár és román kollegákkal közösen. Két témakörben (ókori görög kerámiák, Kárpát-medencei fémtárgyak) a CHARISMA keretében elkezdett munkát tovább folytatták.

A poli(dimetil-sziloxán) polimerben (PDMS) végbemenő kémiai folyamatokat vizsgálták a besugárzó proton dózisének és energiájának függvényében. A vizsgálatok során kiderült, hogy a képződő termék változik a sugárzó protonnyaláb energiájának függvényében, ami azt jelenti, hogy az ionenergia hatással lehet a lejátszódó kémiai folyamatok mechanizmusára. E hatás az elsődleges ion-molekula kölcsönhatás jellegének megváltozásában rejlik, nevezetesen abban, hogy a molekulák ionizációja vagy gerjesztése játszódik-e le nagyobb valószínűséggel. A PDMS-ben lejátszódó, különböző energiájú protonszugárzás-indukált folyamatokhoz komplett reakciómechanizmusokat javasoltak. Ezen effektus több érdekes alkalmazásban is testet ölthet. Szerepe lehet például olyan speciális anyagok előállításában, ahol az ionsugárzás-indukált módosulások csak a felszín alatt mennek végbe. Elősegítheti, hogy még érthetőbbé váljanak a protonterápiában is igen fontos ionsugárzás-indukált kémiai reakciók.

Katalíziskísérletekben alkalmazták a MiniPET-2 kamerát, amelyet az Atomki a Debreceni Egyetemmel együttműködésben fejlesztett ki kisállatok preklinikai vizsgálatára. A kamera 12 gyűrűszerűen elhelyezett detektormodulból áll. A háromdimenziós kép 35 keresztmetszeti szeletből épül fel. A PET-kamera segítségével a  $^{11}\text{C}$ -metanol vegyület 3D-pozícióját és mennyiségi eloszlását vizsgálták a zeolit típusú katalizátoron (a katalizátorágy 4 cm hosszú és 1,6 cm átmérőjű oszlop). A PET-kamera kiválóan alkalmas a jól és kevésbé jól működő, vagy részben már lefedett katalizátorfelület vizsgálatára a katalizátorok tudományos és ipari kutatáson belüli fejlesztésben. A PET-képpalkotás kvantitatív módon jól jellemzi a radioaktív komponens sugár- és tengelyirányú eloszlását a katalizátor teljes térfogatában.

Az előrehaladott képpalkotási rendszer a diagnosztikában és az egészségügyben (Central Nervous System Imaging) projekt keretében az Atomki kutatói a Debreceni Egyetemmel és nemzetközi partnerekkel együttműködve kifejlesztették a MiniPET-3 kisállat PET-készüléket. A gyűrűt alkotó detektorokban a hagyományos fotoelektron-sokszorozókat

szilícium alapúak váltják ki. Utóbbi működését a mágneses tér nem akadályozza, így lehetővé válik a PET és az MRI technika összeházasítása. A pályázat másik nagy eredménye a BrainMOD nevű szoftver, mely a különböző orvosi diagnosztikai berendezésekből (PET, SPECT, MRI, EEG, EIT) származó adatokat kombinálva jeleníti meg a felhasználóbarát grafikus felületen.

Gadoliniumréteget állítottak elő hatáskeresztmetszet-mérésekhez néhány mikronos vastagságban orvosi alkalmazású terbium izotópok termeléséhez. A kutatásnak előzménye nincs, mivel eddig csak ipari célra tudtak néhány nanométer vastag réteget készíteni. Az előállításához Gd tartalmú oldatokból történő elektrolízist alkalmaztak szobahőmérsékleten, mivel az ipari célra használt nagy hőmérsékletű olvadékelektrolízis nem jöhet számításba. Hordozónak alumíniumot használtak, mivel a besugárzás utáni spektrumméréseknél ez zavar a legkevésbé.

Meghatározó szerepet vállaltak a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség által indított „ $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$  alternatív előállítása gyorsítóval dúsított urán használata nélkül” című CRP-projektben. Vizsgálták az előállítható  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ , valamint a párhuzamosan keletkező Ru, Tc, Mo, Nb és Zr szennyezők mennyiségét a bombázó proton energia, valamint a besugárzási és hűtési idők függvényében. Optimalizálási számításokat végeztek a  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  termelés paramétereire, meghatározták a 99,5% dúsítású  $^{100}\text{Mo}$  céltárgy izotóp-összetételének várható változását nagy áramú ismételt besugárzások esetére. Új mérésekkel és a létező kísérleti adatok kompilációjával hozzájárultak „A töltött részecske monitorreakciók és orvosi izotópok előállításához tartozó magreakciók adatainak felülvizsgálata” nevű CRP-projekt eredményeihez. A projekt keretében az egyik legszélesebb körben használt adatkönyvtárat frissítették. Folytatódott a töltött részecske-indukált magreakciók kísérleti adatainak kompilálása az EXFOR adatbázis részére.

Szilárd és folyadékszintillátoros neutrondetektorok, valamint fotoelektron-sokszorozók és SiPM-ek kombinációiból álló neutrondetektorokat tanulmányoztak. A detektorokkal végzett mérések az MTA Atomki ciklotronja mellett üzemelő deutérium-gázcéltárgyas kvázi-monoenergiás neutronforrásnál d+D neutronokkal történtek. A neutron-gamma diszkrimináció digitális jelfeldolgozóval történt, amelyhez a neutronesemények kiválogatását lehetővé tevő új algoritmusokat fejlesztettek. Előkészületek történtek a neutronspektrum meghatározását lehetővé tevő unfolding algoritmusok kifejlesztésére is. A vizsgálatok célja új típusú szintillátorokra alapozott neutrondetektorok kifejlesztése magfizikai kutatási projektek részére (pl. béta-késleltetett neutronemisszió vizsgálata).

A fúziós plazmákból kiszökő ionok fluxusának mérésére alkalmas új módszer fejlesztésében vettek részt. Mérték az ASDEX Upgrade tokamagnál (IPP Garching, Németország). Az ionfluxusok mérésére szolgáló detektorösszeállítást a tokamak középsíkjában sugározták be, ami lehetővé tette a már épülő International Thermonuclear Experimental Reactor (ITER) körülményeinek modellezését D-D plazmakisülések esetén. A kísérletek számítógépes Monte Carlo szimulációja az ASCOT programmal történt. A számítógépes szimulációk eredményeit összevetették a mérésekkel. Értelmezték az összevetés eredményeit. Az eredmények alapján lehetővé vált a módszer továbbfejlesztése, valamint a kísérleti körülmények optimalizálása is.

2013-ban a leggyakrabban használt mintaformátumokra új besugárzó berendezéseket fejlesztettek ki, tesztelték és éles körülmények között is használták. A fejlesztések célja a pontosabb árammérés, a kevesebb ráfordított nyalábidő és a kisebb sugárterhelés volt. Optimalizálták a kevésbé szokványos radioizotópok (pl.  $^{65}\text{Zn}$ ) használatát is, és kifejlesztették az alacsony százalékos arányban előforduló mintaösszetevők alapján való aktiválást, amelyre az együttműködő partnereknek nagy szüksége van. A méréseket a szabadforgalmi szintű

aktivitások felhasználásra optimalizálták, amely lehetővé tette az egyszerűsített szállítást és a radioaktív engedéllyel nem rendelkező partnerintézmények laboratóriumaiban való felhasználást és tárolást.

### *Atomfizikai alap kutatás*

Nagy sebességű negatív hidrogén-ionok keletkezését észlelték molekulák ütközéseiben. Kimutatták, hogy ezek a H-ionok minden hidrogént tartalmazó molekula ütközésekor lezajló általános folyamatban keletkeztek, amely nem igényel speciális kiinduló állapotokat. Korábban úgy tekintették, hogy molekulák ütközéseiben negatív ionokat a spontán disszociációt eredményező állapotokra vezető elektronbefogás és gerjesztés hozhat létre. A most észlelt H<sup>-</sup> ionok nagy energia- és impulzusátadással járó, közvetlen kéttest-ütközésekben keletkeztek. Mivel a H-anion fontos szerepet játszik az asztrofizikai és laboratóriumi plazmákban, és sok kémiai reakció aktív résztvevője, az új folyamat sok területen bizonyíthat jelentősnek.

Többszörösen töltött ionok molekulákkal történő ütközéseiben a töltéskicserélődés folyamatát vizsgálták, az egyes elektronállapotok közötti nem adiabatikus kölcsönhatásokat figyelembe véve. Egyfelől kis molekulák (CO, OH) C<sup>2+</sup> ionokkal történő ütközéseit tanulmányozták, másfelől a C<sup>4+</sup> ionok uracil, és halouracil molekulákkal történő ütközéseit. *Ab initio* molekulaszervezeti számolásokat végeztek, majd szemiklasszikus molekuladinamikai közelítést. Vizsgálták a rotációs csatolás szerepét a töltéskicserélődési folyamatban, illetve erős anizotrop és vibrációs hatásokat mutattak ki. Számolásaik a halouracil molekulák sugárzásérzékenységére adnak becslést.

Nemzetközi együttműködésben (National Institute for Radiological Sciences, Chiba, Japán és Toyo University, Tokió, Japán) vas-plazmát és vasion-nyalábot állítottak elő egy japán ECR-berendezésben, melynek tervezésében az Atomki kutatói is részt vettek a korábbi években. A kivont és lelassított vas ionokat egy párologtatott fullerén (C<sub>60</sub>) rétegbe lötték be abból a célból, hogy Fe+C<sub>60</sub> új molekulát hozzanak létre. Az így kezelt anyagot fizikai és kémiai módszerekkel megvizsgálták (MA-LDI, HPLC). A vizsgálatok kimutatták, hogy M=776 tömegszámú molekulák is keletkeztek, melyek mérete nem nagyobb, mint a 720-as tömegű C<sub>60</sub> molekula. Ily módon közvetett bizonyíték keletkezett arra, hogy fullerénbe zárt vas-atomot állítottak elő (a vas tömege 56). Az eredményeket két nemzetközi folyóiratban publikálták. További kutatások szükségesek a módszer reprodukálhatóságához és az új anyag nagyobb tömegben történő előállításához.

Kétszer egy hetes nyalábidőben a PETRA III szinkrotron (DESY, Hamburg, Németország) P04 nyalábcatornáján Xe<sup>q+</sup> (q=1-3) ionok gerjesztési/ionizációs hatáskeresztmetszeteit vizsgálták a Xe<sup>q+</sup> ionok 3d rezonáns gerjesztéseinek megfelelő fotonenergia-tartományban egy speciális foton-ion spektrométer segítségével (PIPE). Hasonló méréseket végeztek endohedrális klaszteren (Lu@C<sub>80</sub>) a klasztert alkotó szén atomok 1s rezonáns gerjesztéseire.

Nemzetközi együttműködésben a hollandiai KVI Groningen intézetben nagytöltésű ionok terelt áthaladását tanulmányozták polietilén-tereftalát (PET) fóliákban kialakított nanokapillárisokon. A mostani kísérleteket az indította, hogy korábban polikarbonát anyagú fóliákban a kapillárisok elzáródását figyelték meg, míg PET fóliáknál ez nem volt tapasztalható. A vizsgálatok célja annak kiderítése volt, hogy az eltérő anyagminőség, vagy a nagyobb kapillárisűrűség okozta-e az elzáródást. Különböző kapillárisűrűségű mintákat vizsgálva 0°-os dőlésszögnél (ahol a legnagyobb az elzáródási effektus) azt tapasztalták, hogy PET mintáknál is fellép az elzáródás jelensége nagy sűrűségeknél. Ezek az eredmények

és modellszámítások igazolják, hogy a szomszédos csatornában felgyülemlett töltések által keltett elektromos potenciál meghatározó a kapillárisok elzáródásában.

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

Polikristályos Al-felületére beeső 100 eV energiájú primer elektronok esetén a keltett szekunder elektronok (SE) spektrumait mérték a visszaszórt elektronokkal koincidenzában. A koincidenzáspektrumokban meg lehet különböztetni az olyan eseményektől származó adatokat, ahol a primer elektron felületi gerjesztésnek megfelelő energiavesztéseget szenved a vákuumban a felület közelében, egy SE elektront keltve a legfelső felületi rétegből. A primer elektronnak a tömbi plazmon energiájánál csak éppen nagyobb energiavesztésegei esetén éles átmenet figyelhető meg, amely a SE emissziós mélység hirtelen növekedésének felel meg, a felületi és tömbi plazmonok komplementaritásának (Begrenzung) közvetlen következményeként. A megfigyelt folyamatok általános jelentőséggel bírnak a felületközeli SE-emisszió, így a SE-mikroszkópia szempontjából.

Al és Na fémek és mély törzs nívók gerjesztése esetében modellezték a fotoelektronok felületi és tömbi plazmon energiavesztésének szög- és energiafüggését. A kvantum Landau-formula alkalmazásával teljes mértékben figyelembevették a fotoelektronok többszörös szórását. A csak egyszeres rugalmas szórás feltételezése túlbecsüli a mélyebben fekvő emitterek miatti veszteségeket az előrefókuszálási hatások következtében, valamint nem ad jó mélységi profilokat és veszteségi spektrumokat. A többszörös szórást is leíró modell a defókuszáló hatások miatt gyorsan csökkenő mélységi profilokat és a fotoelektron-diffrakció miatt megjelenő struktúrákat eredményez, ezen kívül sikeresen leírja a veszteségi spektrumok (az emitterek körüli lokális geometriáját tükrözö) azimutális függését.

Az Anyagtudományi Laboratórium keretein belül végrehajtották az Atomi rétegleválasztó berendezés beszerzését és üzembeállítását. Ezzel párhuzamosan CVD-vel előállított elektromosan vezető oxidrétegek (bórral adalékolt ZnO vékonyfilmek) és elektrokémiai leválasztással készített mágneses nanorétegek (FeNi ötvözetek) tanulmányozását végezték mélységprofil-analízissel. Elektrokémiai leválasztással előállított néhány nanométer vastagságú mágneses rétegek mélységi összetételének kísérleti meghatározására egyedülálló eljárást dolgoztak ki, mellyel a hordozó közeli elemösszetételt, és így az elektrokémiai leválasztás alapfolyamatait lehetett tanulmányozni. Galvanosztatikuss impulzus-rétegleválasztáshoz meghatározták az adott elemösszetétel eléréséhez szükséges áramsűrűséget és az alkalmazandó kitöltési tényezőt.

Alacsonyhőmérsékletű optikai méréseket végeztek As<sub>20</sub>Se<sub>80</sub> kémiai összetételű kalkogénid mintákon, nevezetesen a fényel előidézett felületi és tömbi atomi mozgásokat (tömegtranszportot) tanulmányozták. Kísérleti elrendezésükben alacsony hőmérsékleten a fény okozta termikus gerjesztések kizárhatók, ezért a lézerfényel való besugárzás kvantummechanikai módon indukált szerkezeti változásokat idézett elő. Optikai spektrometriai módszerrel vizsgálták a minta tömbi tulajdonságainak változását, kisenergiás ionszórásos módszerrel pedig a kizárólag a felületen lévő atomok viselkedését. Az optikai méréseken alapuló alacsony hőmérsékletű (folyékony hélium vagy ahhoz közeli hőmérsékletű) tömegtranszport mérések témakörében a szakirodalom rendkívül hiányos, ezért a témában született eredmények felértékelődnek.

Nemzetközi együttműködés keretében tömegspektrometria (SNMS) és röntgendiffrakciós módszerek alkalmazásával Cu-Si vékonyfilmek esetében kimutatták, hogy a hőkezelés hatására atomi keveredés eredményeként kialakuló Cu<sub>3</sub>Si kristályos fázis növekedése az amorf szilícium és a polikristályos réz rétegek határán az időtől lineárisan függ. Az

eredménynek a mikroelektronikában van fontos szerepe az elektromos kontaktusok élettartalmának előrejelzése vagy növelése szempontjából. Atomerő mikroszkópia vizsgálatokkal tanulmányozták a Si-atomok gyors diffúzióját a nanokristályos Cu-szemcsehatárokon. A diffúzió eredményeként előbb megnőtt a Si koncentrációja a réz réteg teljes térfogatában, majd a Si-atomok szegregálódtak a rétegstruktúra szabad felületén.

### *Környezetfizika*

Kimutatták, hogy a talajok agyagásványainak formális K – Ar kora (mű)trágyázás hatására fiatalodik. Ekkor a nyomelem tartalom az ásványban és a növényben egyaránt csökken. A csökkenés az élelmiszerekben is megjelenik. Ez az effektus egy talajdiagnosztikai eljárás alapja lehet, a K – Ar módszer eddigi alkalmazásaitól eltérően nem a földtani folyamatok korára, hanem a földtani eseményt követő ásványátalakulások mértékére nyújt ininformációt. Rámutattak, hogy Mg-tartalmú anyag (pl. dolomit) kiszórásával ez a káros folyamat csökkenthető.

Mint azt a 15 db AMS  $^{14}\text{C}$ -mérési eredményeik és 21 db párhuzamos OSL-IRSL eredmény mutatja a Dunaszekcső melletti lösz palaeotalaj rétegsor kiváló szárazföldi lenyomatát adja a palaeokörnyezet változásainak az elmúlt 130 ezer évben a Kárpát-medencében. A rétegsorból kinyert faszénminták  $^{14}\text{C}$ -korának ismerete lehetővé tette, hogy a csigahéjakon mérhető párhuzamos  $^{14}\text{C}$ -korok megbízhatóságát is teszteljék. Megmutatták, hogy bizonyos kisebb héjat (< 10 mm átmérő) fejlesztő fajok  $^{14}\text{C}$ -korai lényegében azonosak a növényekből mért korokkal, míg más fajok esetében akár 600-800 éves eltérések is felléphetnek. Az OSL-IRSL módszerekkel nyert párhuzamos rétegek korok rendre öregebbnek adódtak a radiokarbonhoz képest, kivéve a pIRIR@225 eljárást, mely jó egyezésben adta a  $^{14}\text{C}$ -el kapott eredményeket.

A trícium a felső légkörben a kozmikus sugarak hatására képződött másodlagos neutronok és a légkör atomjai között fellépő magreakciókban termelődik. Hazánk területén a természetes, csapadékbeli tríciumszint 5–10 TU körül alakul. Az 50-es évektől indult légköri termonukleáris kísérleti atombomba-robbantások nagyságrendekkel megnövelték a csapadék természetes szintjét. A csapadék tríciumtartalma a 2000-es évek elejére elért egy természeteshez közeli átlagos szintet. Ebben az időszakban, 2001 és 2012 között sikerült egy több mint 11 éves csapadékmintázást végrehajtani. Az eredmények azt mutatják, hogy a csapadék havi átlagos tríciumkoncentrációja függ a nap mágneses aktivitásától. Mindez összhangban van más, a légkörben rövid tartózkodási idejű kozmogén izotóp (pl.  $^7\text{Be}$ ,  $^{10}\text{Be}$ ) időszakos változásával.

A cellulóz olyan alkotó eleme a növényeknek, melyet a keletkezése után már nem használ újra az anyagcsere folyamataiban, ezért a légkör  $^{14}\text{C}$ -aktivitásának változása jó eséllyel nyomon követhető a fák évgyűrűi radiokarbon-aktivitásának mérésével. 2013 tavaszán 17 évet lefedő faévgyűrű-sorozatot vettek a Püspökszilágyi Radioaktív Hulladék Feldolgozó és Tároló ellenőrzött zónájában. A minták cellulóztartalmának elválasztása után a cellulóz  $^{14}\text{C}$ -koncentrációit nagy pontosságú AMS  $^{14}\text{C}$ -módszerrel mérték meg. Meghatározták a telephely többlet  $^{14}\text{C}$ -kibocsátását és annak időbeli alakulását éves felbontásban. A telephelyi fa évgyűrű adatain egyértelműen követhető a tároló „múltja”, mely értékek szignifikánsan eltérnek a természetes  $^{14}\text{C}$ -szinttől. Azonban ez a többlet körülbelül azonos az nukleáris fegyverkísérletek idejéből származó faévgyűrűkre jellemző értékekkel.

2013-ban indultak a mérések az Atomkiban az induktív csatolású plazma tömegspektrométerrel (gyártó: Agilent, típus: ICP-MS 8800). A készülék különlegessége, hogy két kvadrupól egységet tartalmaz, közöttük ütközési cellával. Ezért nagyfelbontású MS/MS meghatározásokat lehet vele elvégezni úgy, hogy az ütköző gázokkal a molekula-



ionok okozta zavarástól az esetek jelentős hányadában meg lehet szabadulni. A készülék alkalmas a ng/l – µg/l koncentrációtartományban – a gázok kivételével – szinte minden elem koncentrációjának meghatározására, valamint izotóparányok mérésére. Egyelőre felszíni és felszín alatti vizek nehezen mérhető, és kis koncentrációban megtalálható alkotóinak meghatározásán dolgoztak vele (pl. Ag, As, Th, U). Biológiai minták As-koncentrációjának meghatározására fejlesztettek ki módszert. Sikerült kimérni a berendezéssel a kontrasztanyagokban jelen lévő gadolíniumot a DE Klinika elfolyó szennyvizében.

2011 novemberében Debrecenben két hétig volt „szmogriadó”. Ezen időszak alatt intenzív mintavételi kampányt folytattak: 2 órás időfeloldással gyűjtötték az aeroszol PM<sub>2.5</sub> és PM<sub>10</sub> frakcióját, valamint mérték az aeroszol méreteloszlását. A közel 350 minta elemi összetételét PIXE módszerrel mérték meg, az aeroszol forrásait PMF faktoranalízis segítségével határozták meg. Az OMSZ-el együttműködésben vizsgálták a finom és durva aeroszolkomponensek és -források tendenciáit, keveredési rétegvastagságtól és további meteorológiai paraméterektől való függését. Megállapították, hogy a háztartási fűtés adta a legnagyobb hozzájárulást az aeroszolszennyezéshez, és a fűtésből származó aeroszolkoncentráció akkor dúsult be, amikor a keveredési rétegvastagság a legkisebb volt.

## II. b) Tudomány és társadalom

Az Atomki a 2013-as év folyamán öt nagy tevékenységi területen építette kapcsolatait a nagyközönséggel: a disszeminációs pályázat keretében, a Kutatók Éjszakája alkalmával, a Fizikusnapok rendezvénysorozatával, a Látogatóközpont megnyitásával, és a látogatócsoportok rendszeres fogadásával.

A disszeminációs pályázat (TÁMOP-4.2.3-12/1/KONV-2012-0057) teljes címe: Az Atomki tudományos eredményeinek terjesztése és népszerűsítése, rövid címe: „Megérthető-elérhető fizika”. Legsikeresebb programja az *utazó fizika*, mely során az Atomki fiatal munkatársai kísérletekkel tarkított rendhagyó fizika órákat tartanak az észak-alföldi régió 10 hátrányos helyzetű településének középiskolájában. A téma félévente megújul; a tavaszi félév témája a víz volt, mivel 2013 a vízügyi együttműködés nemzetközi éve, az őszi félév témája Földünk természetes védelmi rendszerei, mert 100 évvel ezelőtt fedezték fel az ózonréteget. A két félév során a hallgatóság összlétszáma 1454 volt. Az előadásokról videofelvételek készültek, így az ismeretek interneten keresztül is elérhetővé válnak más iskolák és minden érdeklődő számára.

A pályázat keretében alkalmazott tudományos újságíró révén rendszeresen készülnek közérthető cikkek az Atomkiban folyó tudományos tevékenységekről és az intézet kutatóiról. Ezek főként országos napilapokban jelennek meg. Ezenkívül maguk a kutatók is számos ismeretterjesztő cikket írnak és rádiós, televíziós ismeretterjesztő műsorokban szerepelnek.

Szeptemberben került sor a tudománnyal való találkozás szokásosan sikeres eseményére, a Kutatók Éjszakájára. A neutrínóról szóló előadásra megtelt az intézeti előadóterem. Ezután „A fizika, ami körbevesz” címmel érdekes játékokkal ismerkedhettek a látogatók az intézet udvarán.

A neutrínóhoz kapcsolódik egy fontos októberi esemény is: az Európai Fizikai Társulat a fizikai kutatások *kiemelkedő jelentőségű történelmi emlékhelyévé* nyilvánította az MTA Atomki főépületét. 1956 őszén ebben épületben folytatták Szalay Sándor és Csikai Gyula azokat a magfizikai kísérleteket, amelyekkel sikerült megerősíteni a neutrínók létezését. Az Atomki bejáratánál elhelyezett, a modern fizika megalapozásához való jelentős hozzájárulást jelző tetszetős kis tábla érdekes látnivalót jelent a debreceni Bem téren sétálóknak.

A Fizikusnapokat idén 34. alkalommal rendezte meg az Atomki „2013 - a Higgs-bozon éve” címmel. A korábban szokásos március helyett az idén először novemberben került megrendezésre ez az eseménysorozat. Ezzel az intézet integrálta a Fizikusnapokat a Magyar Tudomány Ünnepe keretében zajló Kutatóhelyek Tárt Kapukkal programba. Négy napon keresztül hangzottak el előadások a részecskefizika tárgyában, melyre általános iskolástól nyugdíjas korúig jöttek érdeklődők, összesen 289 fő. A hét folyamán a délelőtti órákban iskolás csoportok érkeztek Debrecenből és más településekről, sőt Erdélyből is, hogy a meghirdetett 23-féle rendhagyó fizika óra valamelyikét meghallgassák; ezzel összesen 1088 látogatóórát töltöttek az intézetben. A nyílt nap alkalmával az Atomki néhány laboratóriumát lehetett megtekinteni.

Az MTA támogatásával létrejött az Atomki Látogatóközpontja, melynek megnyitója a Fizikusnapok első napjára esett. Az itt található eszközök interaktív jellegűek. A látogatóközpont fontos szerepet kap az egész évben az intézetbe érkező látogatócsoportok programjában; 2013-ban 16 csoportban 371 fő érkezett – általános és középiskolások, egyetemisták, felnőtt érdeklődők – és összesen 753 látogatóórát töltöttek el.

### **III. A kutatóhely hazai és nemzetközi kapcsolatai 2013-ban**

Az intézet hazai intézményekkel folyó együttműködésében kiemelkedő szerepe van a Debreceni Egyetem tanszékeivel és a Wigner Fizikai Kutatóközponttal való kapcsolatoknak, de széleskörű az együttműködés más intézményekkel is. A kapcsolatokat a tudományos rendezvények szervezése is jellemzi.

“Vizek kutatása izotópos módszerekkel az MTA Atomkiban” címmel interdiszciplináris workshopot rendezett az intézet 2013. május 17-én a kutatási eredményekről, amely nemcsak szakembereknek, hanem diákoknak, tanároknak is szólt.

Az intézet az Eötvös Loránd Fizikai Társulattal és a Debreceni Egyetem Fizikai Intézettel közösen szervezője volt a Debrecenben 2013. augusztus 21-24 között megtartott Magyar Fizikus Vándorgyűlésnek. A konferencia a magyar fizikusok három évenként megrendezendő legnagyobb seregszemléje. A Vándorgyűlés helyszíne az egyetem és az intézet volt.

A Magyar Aeroszol Társaság és az intézet szervezésében Debrecenben az Atomkiban kerül megrendezésre a XI. Magyar Aeroszol Konferencia 2013. október 28-30 között. A magyar aeroszolkutatás résztvevői a konferenciát 2-3 évente rendezik meg.

A felsőoktatásban való részvétel 2013-ban is fontos szerepet töltött be az intézet kutatóinak tevékenységében. A Debreceni Egyetemen fenntartott hagyományos kapcsolatok mellett a Szegedi Tudományegyetemen is oktattak az Atomki kutatói. A beszámolási időszakban meghirdetett 49 kurzus keretében 919 tantervi óra megtartásával járultak hozzá az oktatáshoz. A gyakorlati órák száma 2013-ban 486 volt, 28 kurzus keretében. Az oktatásban összesen 38 kutató vett részt. A pregraduális oktatás mellett fontos terület a doktori képzés. A Fizikai Doktori Iskola törzstagjai közül 8 az Atomki kutatója. A beszámolási időszak folyamán 17 PhD-, 8 diplomamunkás, 8 szakdolgozó és 7 TDK-hallgató dolgozott az intézetben, a témavezetésre fordított órák száma összesen 3280 volt. Az intézetben folytatódott a kutatóhallgatói ösztöndíjas program, amelynek keretében egyetemisták vállalnak részt a kutatómunkában. A tavaszi és az őszi félévben 6-6 ösztöndíjas vett részt ebben a programban.

A *nemzetközi kapcsolatok* a meglévő együttműködések révén lényegi feltételét jelentik a kutatás eredményességének. Intenzitásukat az intézet által rendezett nemzetközi találkozók, műhelyek, rendezvények is jól tükrözik.

Sikeres nemzetközi tudományos műhelyt szervezett az intézet „Open problems and future directions in heavy element nucleosynthesis” címmel. A 2013. április 10 – 12 között folytatott tanácskozáson 31 külföldi és 10 hazai fizikus vett részt. A 2009-es garchingi és 2011-es isztambuli találkozó után a debreceni tudományos műhely jelentette a harmadik elemét a nukleáris asztrofizikai p-folyamattal foglalkozó sorozatnak.

Az Európai Fizikai Társulat (EPS) Magfizikai Bizottsága 65. ülésének az MTA Atomki biztosított helyszínt 2013. április 19-20 között.

Külföldi résztvevőknek tartottak oktatóprogramot 2013. június 17-21 között az Atomki kutatói az élelmiszerekben előforduló radioaktív atommagokról.

Az Atomki Külső Tanácsadó Testülete 2013. szeptember 1-2 között tartotta ülését az intézetben, ahol az Elméleti Fizikai Osztály tevékenysége volt a fókuszponti téma.

A Debreceni Egyetem Elméleti Fizikai Tanszékével közösen az Atomki is szervezője volt a 2013. szeptember 9-12 között tartott V. Magyar-Japán Bilaterális Műhelynek, amelyen statisztikus fizikai vizsgálatok kérdéseivel foglalkoztak a résztvevő kutatók.

A külföldi kutatók debreceni tevékenységében 2013-ban is fontos szerepe volt a CHARISMA EU FP7 programnak. A kulturális örökség megőrzését Európa-szerte fontos feladatnak tartják. A projekt keretében, összesen 9 külföldi kutatót fogadtak Csehországból, Franciaországból és Lengyelországból.

Néhány külföldi kutató hosszabb időt is Debrecenben töltött. Az University of Basel egy kutatója tavaly megkezdett nukleáris asztrofizikai elméleti kutatómunkáját 2 hónapon át folytatta az Atomkiban, egy kutató a törökországi Kocaeli Egyetemtől kísérleti munkában ugyanebben a témakörben 8 hónapot dolgozott az intézetben. Ugyancsak a Kocaeli Egyetemtől érkezett az a kutató, aki környezetfizikai kutatással töltött itt 6 hónapot. Az NSF Arizona AMS Laboratory kutatója 4 hónapot töltött az Atomkiban  $^{14}\text{C}$ -es kormeghatározás területén végzett munkával. Munkája a tavalyi hosszabb tartózkodás folytatása volt. A Missouri University egy kutatója 8 hónapot dolgozott az Atomkiban elméleti fizikai kutatást folytatva.

#### **IV. A 2013-ban elnyert fontosabb hazai és nemzetközi pályázatok rövid bemutatása**

Hazai vonatkozásban az Atomki a legnagyobb volumenű támogatásokat az NFÜ, a Radioaktív Hulladékokat Kezelő Kft. és az OTKA nevű szervezetektől kapta, nemzetközi téren pedig az Európai Uniótól. Intézetünk hét nyertes TÁMOP pályázatban résztvevő.

Az intézet 2013-as pályázatainak közül 37-nél a teljes összeg 10 millió Ft fölött volt, 26-nál pedig 20 millió Ft fölött. Az alábbiakban felsoroljuk ezt a 26 pályázatot, és megadjuk, hogy a pályázatból mekkora összeg az Atomkié, valamint hogy 2013-ra ebből mennyi jutott.

NFÜ: Komplex épületenergetikai fejlesztés, 324997 eFt – 7662 eFt

NFÜ: Előrehaladott képzési rendszer, 106550 eFt

NFÜ: Kommunikációs protokoll kutatása, 224327 eFt

NFÜ: Impulzuslézerek alkalmazása, 19144 eFt – 8810 eFt

NFÜ: Jövő Internet kutatások, 49988 eFt – 4765 eFt

NFÜ: Ágazati felkészítés - hazai ELI projekt, 60343 eFt – 18951 eFt

NFÜ: Az Atomki tudományos eredményeinek terjesztése, 99190 eFt – 39484 eFt

NFÜ: Környezetbiztonságos forrasanyagok, 45211 eFt – 12586 eFt

NFÜ: Célzott kémiai és biológiai alaputatások, 57600 eFt – 29556 eFt

Paksi Atomerőmű Zrt.: Nehezen mérhető izotópok, 47620 eFt – 12190 eFt

Radioaktív Hull. K. Kft.: Püspöksz. RHT terül. vett m. vizsg., 108788 eFt – 17523 eFt

NKTH– OTKA: A Napban lejátszódó  $3\text{He} + 4\text{He}$  reakció, 24000 eFt – 2762 eFt  
OTKA: A nehéz elemek nukleoszintézise, 21998 eFt  
OTKA: Magyarország az LHC CMS kísérletében, 35872 eFt – 8968 eFt  
OTKA: Korrelációk az atommagokban, 31008 eFt – 5952 eFt  
OTKA: Mikroszatornák készítése protonnyalábbal, 34418 eFt – 19574 eFt  
OTKA: Neutrondetektorok fejlesztése, 29985 eFt – 5028 eFt  
OTKA: Korrelációs folyamatok fotoionizációban, 27744 – 18936 eFt  
EU: A jövő laboratóriuma, 66262 EUR – 28983 EUR  
EU: Mesterséges gyémánt alapú detektorok fejlesztése, 10040 EUR  
EU: E+ E- detektor fejlesztése, 79500 EUR – 25496 EUR  
EU: EURATOM Fúziós Tréning, 144928 EUR – 10924 EUR  
EU: Trícium - oktatási program, 48000 EUR  
EU: Kollektív gerjesztések atomi ionizációban, 100000 EUR – 15000 EUR  
EU: Asztrofizikai p-folyamat, 750000 EUR – 113745 EUR  
EU: CHARISMA, 246446 EUR – 78345 EUR

## V. A 2013-ban megjelent jelentősebb tudományos publikációk

Bruckmann F, Endródi G, Kovács TG:

Inverse magnetic catalysis and the Polyakov loop.

J High Energy Phys, (4): Paper 112. 22 (2013)

<http://arxiv.org/abs/1303.3972>

Brunner N, Navascues M, Vértesi T:

Dimension Witnesses and Quantum State Discrimination.

Phys Rev Lett, 110 (15): Paper 150501. 4 (2013)

<http://arxiv.org/abs/1209.5643>

Cseh J, Kato K:

Multichannel dynamical symmetry and cluster-coexistence.

Phys Rev C, 87 (6): Paper 067301. 4 (2013)

<http://arxiv.org/abs/1302.0381>

Csige I, Szabó Zs, Szabó Cs:

Experimental technique to measure thoron generation rate of building material samples using RAD7 detector.

Radiat Meas , 59: 201-204. (2013)

<http://real.mtak.hu/8517/>

Csige L, Filipescu DM, Glodariu T, Gulyás J, Günther MM, Habs D, et al. (13)

Krasznahorkay A:

Exploring the multihumped fission barrier of  $^{238}\text{U}$  via sub-barrier photofission.

Phys Rev C, 87 (4): Paper 044321. (2013)

<http://arxiv.org/abs/1302.3425>

Guastalla G, Dijulio DD, Górska M, Cederkäll J, Boutachkov P, Golubev P, et al. (66)

Algora A, Dombrádi Zs, Sohler D, Vajta Z, :

Coulomb excitation of  $\text{Sn}^{104}$  and the strength of the  $\text{Sn}^{100}$  shell closure.

Phys Rev Lett, 110 (17): Paper 172501. 5 (2013)

<http://real.mtak.hu/9056/>

Hornyák I, Kruppa AT:

Coulomb-distorted plane wave: partial wave expansion and asymptotic forms.

J Math Phys, 54: Paper 053502. 7 (2013)

<http://arxiv.org/abs/1304.6247>

Huszánk R, Szilasi Sz Z, Szikra D:

Ion-Energy Dependency in Proton Irradiation Induced Chemical Processes of Poly(dimethylsiloxane).

J Phys Chem C, 117 (49): 25884-25889. (2013)

Juhász Z, Sulik B, Rangama J, Bene E, Sorgunlu-Frankland B, Frémont F, et al. (7):

Formation of negative hydrogen ions in 7-keV  $\text{OH}^{\{+\}}+\text{Ar}$  and  $\text{OH}^{\{+\}}+\text{acetone}$  collisions: A general process for H-bearing molecular species.

Phys Rev A, 87 (3): Paper 032718. 5 (2013)

<http://real.mtak.hu/4544/>

Kövér L:

Energy loss structures in HAXPES spectra of solids.

J Electron Spectrosc, 190 (Part B): 144-152. (2013)

Krasznahorkay A, Paar N, Vretenar D, Harakeh MN:

Anti-analog giant dipole resonances and the neutron skin of nuclei.

Phys Lett B, 720 (4–5): 428-432. (2013)

<http://arxiv.org/abs/1302.6007>

Kuti I, Timár J, Sohler D, Paul ES, Starosta K, Astier A, et al. (36)

Dombrádi Z, Nyakó BM, Tornyai TG, Zolnai L:

Medium- and high-spin band structure of the chiral candidate La-132.

Phys Rev C, 87 (4): Paper 044323. 10 (2013)

<http://www.csns.in2p3.fr/IMG/pdf/physrevc.87.044323.pdf>

Lepailleur A, Sorlin O, Caceres L, Bastin B, Borcea C, Borcea R, et al. (22)

Sohler D:

Spectroscopy of F26 to probe proton-neutron forces close to the drip line.

Phys Rev Lett, 110 (8): Paper 082502. 5 (2013)

<http://arxiv.org/abs/1301.5803>

Lévai G:

Semimicroscopic algebraic description of a clustering in Ne-22.

Phys Rev C, 88 (1): Paper 014328. 12 (2013)

<http://arxiv.org/abs/1307.3007>

Minezaki H, Oshima K, Uchida T, Mizuki T, RÁCZ R, Muramatsu M, et al. (11)

Biri S:

Synthesis of Fe-C-60 complex by ion irradiation.

Nucl Instrum Meth B, 310: 18-22. (2013)

- Nándori I:  
Functional renormalization group with a compactly supported smooth regulator function.  
J High Energy Phys, 2013 (4): Paper 150. 13 (2013)  
<http://arxiv.org/abs/1208.5021>
- Neuróhr K, Csik A, Vad K, Molnár G, Bakonyi I, Péter L:  
Near-substrate composition depth profile of direct current-plated and pulse-plated Fe-Ni alloys.  
Electrochim Acta, 103: 179-187. (2013)
- Rauscher T, Dauphas N, Dillmann I, Fröhlich C, Fülöp Z, Gyürky G:  
Constraining the astrophysical origin of the p-nuclei through nuclear physics and meteoritic data.  
Rep Prog Phys, 76 (6): Paper 066201. 38 (2013)  
<http://arxiv.org/abs/1303.2666>
- Rinyu L, Molnár M, Major I, Nagy T, Veres M, Kimák Á. et al. (8):  
Optimization of sealed tube graphitization method for environmental C-14 studies using MICADAS.  
Nucl Instrum Meth B, 294: 270-275. (2013)
- Sarkadi L, Herczku P, Kovács S T S, Kövér Á:  
Multiple ionization of rare gases by hydrogen-atom impact.  
Phys Rev A, 87 (6): Paper 062705. 10 (2013)  
<http://real.mtak.hu/8631/>
- Tárkányi F, Takács S, Ditrói F, Hermanne A, Ignatyuk AV:  
Activation cross-sections of longer-lived radioisotopes of deuteron induced nuclear reactions on terbium up to 50 MeV.  
Nucl Instrum Meth B, 316: 183-191. (2013)  
<http://arxiv.org/abs/1303.6417>
- Tsoncheva T, Sarkadi-Pribóczki E, Dimitrov M, Genova I:  
Nanostructured copper, chromium, and tin oxide multicomponent materials as catalysts for methanol decomposition: 11C-radiolabeling study.  
J Colloid Interf Sci, 389 (1): 244-251. (2013)
- Ulrych J, Ackerman L, Balogh K, Hegner E, Jelínek E, Pécskay Z, et al. (10):  
Plio-Pleistocene basanitic and melilititic series of the Bohemian Massif: K-Ar ages, major/trace element and Sr-Nd isotopic data.  
Chem Erde-Geochem, 73 (4): 429-450. (2013)
- Watanabe H, Lorusso G, Nishimura S, Xu ZY, Sumikama T, Soderstrom PA, et al. (52)  
Vajta Z:  
Isomers in Pd-128 and Pd-126: Evidence for a Robust Shell Closure at the Neutron Magic Number 82 in Exotic Palladium Isotopes.  
Phys Rev Lett, 111 (15): Paper 152501. 5 (2013)