

## 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 2014-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. Az alaptevékenységgel azonos területen kiegészítő tevékenység végzése.

### II. A 2014-ben elért kiemelkedő kutatási és más jellegű eredmények

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

##### *Kvantumfizika*

A kutatók kéttest-korrelációkon alapuló, nemlokalitást detektáló, sokrészecskés Bell-egyenlőtlenségeket konstruáltak, megmutatták, hogy ezen korrelációk kísérletileg is hozzáférhetők a globális spin nagy pontosságú mérése révén. Ehhez ultrahideg atomok, illetve nanostruktúrákba csapdázott atomi rendszerek várhatóan kiválóak lesznek, és utat nyithatnak a sokrészecskés nemlokalitás kísérleti vizsgálata felé. Kifejlesztették a SWAP (csere) módszert, amely a kísérleti adatból származó Bell-sérülés függvényében többrészű kvantumállapotok eszközfüggetlen módon történő tomográfiáját teszi lehetővé. Ezen módszert sikeresen alkalmazták kettőnél több részű kvantumkorrelációkra.

Szisztematikusan feltérképezték az egzaktul megoldható PT-szimmetrikus (invariánsak az egyszerre történő P tér- és T időtükrözésre nézve) potenciálok egy általános osztályát. E potenciálok tipikus példái a pszeudo-hermitikus kvantummechanikai rendszereknek, amelyek túlmutatnak a kvantummechanika hagyományos hermitikus kiépítésén, ám magukon viselik a hermitikus rendszerek számos sajátosságát. Ilyenek a valós energia-sajátértékekkel rendelkező komplex potenciálok. Jelentőségüket mutatja, hogy konkrét rendszerekben kísérletileg kimutatták a PT szimmetria megvalósulását és spontán sérülését is. A Natanzon potenciálosztály említett vizsgálata elősegíti a pszeudo-hermitikus rendszerek megértését. E potenciálosztály magában foglalja a legtöbb ismert megoldható PT-szimmetrikus potenciált. Új eredményként kritériumokat adtak az energiaspektrum lehetséges szerkezetére, beleértve a PT szimmetria spontán sérülését megengedő feltételeket is.

A szigorúan véges hatótávolságú magpotenciálok azonosan nullává válnak egy adott véges távolságon túl. Néhány ilyen magpotenciálban kiszámolták az egyrészecske-állapotok energiáit és az anyagsűrűséget, valamint az S szórás mátrix pólusainak pályagörbéit könnyű és nehéz atommagokra. A következő, szigorúan véges hatótávolságú magpotenciálokat vizsgálták: a levágott Woods-Saxon potenciált, az SV (Phys. Rev. C 77, 037302 (2008)) és az SS (Int. J. Mod. Phys. E 21, 1250067 (2012)) potenciált. Ennek a két új potenciálnak a paramétereit úgy határozták meg, hogy legjobban hasonlítsanak a Woods-Saxon-potenciálhoz. Az SV- és az SS-potenciálokbeli pólusok pályagörbéit összehasonlították a

levágott Woods-Saxon potenciálbeliekkel nulla pálya-impulzusmomentumra. Azt találták, hogy a levágott Woods-Saxon-potenciálban bizonyos pályagörbék szabálytalan alakúak.

Áttekintették és összehasonlították a csoportelmélet alkalmazásait az elemi részecskék és a magállapotok osztályozásában. Ezt a rendszerezést Wigner kezdeményezte, és végezte el jelentős részben. Jelesen: bemutatták az inhomogén Lorentz csoport szerepét a részecskefizikában, az  $U(4)$  szimmetriáét mindkét diszciplinában, és azt, hogy a magállapotok miként osztályozhatók az  $U(3)$  szimmetria révén.

### *Részecskefizika*

CERN Nagy Hadronütköztetőjénél (LHC) a Higgs bozon felfedezését követő időszakban szünet következett a gyorsító működésében. Ez a Kompakt Műonszolenoid (CMS) detektorrendszerrel dolgozó atomkis kutatók számára is lehetőséget adott fejlesztési feladatok végzésére. Továbbfejlesztették a műondetektor barrel (hordó alakú szolenoid) részének pozíciómonitor-rendszerét. Ez magában foglalta a mérési pontosság növelését, az üzembiztonság fokozását és a mérési adatok validációjának kiterjesztését. Az LHC korábbi futási periódusa alatt felvett adatok kiértékelésével megmérték a részecskepályák meghatározásában kulcsszerepet játszó pixeldetektor beütéstalálási hatásfokát. Ezen adatok alapján elkészítették a detektor dinamikus hatásfokvesztés-szimulációját, amit később felkészítettek a 2015-ben várhatóan megnövekedő pillanatnyi luminozitásra és ütközési energiákra.

A hőmérséklet és a páratartalom mérése fontos a CMS szilícium nyomjelző része (Silicon Tracker) környezetében. A kifejlesztett, poliimid bevonatú FBG (Fibre Bragg Gratings) szenzorok 2014-ben folyamatosan üzemeltek. Az Atomki kutatói részt vettek a mért adatok analízisében és a szükséges algoritmusok kidolgozásában. Szintén részt vettek a következő generációs LPG technológiára épülő szenzorok kifejlesztésében. A Wigner FK-tal együttműködve kidolgozták a GE1/1 detektor pozíciómonitor-rendszerének koncepcióját. Az FBG száloptikai szenzorok felhasználásával kifejlesztés alatt álló érzékelők segítségével elkerülhetők a más megoldásoknál a mágneses tér jelenlétéből és a sugárkárosodásból eredő problémák. A koncepciót a GE1/1 kollaboráció elfogadta.

Kidolgoztak egy, a spontán szimmetriasérülésre épülő új optimalizációs eljárást, amit a funkcionális renormálási csoport módszer regulátorfüggésére alkalmaztak a kétdimenziós sine-Gordon modell keretében. Megvizsgálták a mágneses nanorészecskék segítségével végzett lázterápia hatékonyságának növelését. Egy összefoglaló munkában a QED csatolási állandó értékének egy lehetséges elméleti magyarázatát adták.

Meghatározták a kvantum-színdinamika (QCD) Anderson típusú átmenetének  $v$  kritikus exponensét, amely az átmenet közelében a korrelációs hossz viselkedését írja le. Azt találták, hogy ennek értéke kompatibilis a háromdimenziós Anderson-modellben korábban talált értékkel. Ebből következik, hogy a két átmenet ugyanabba az univerzalitási osztályba tartozik. Ezt az eredményt a Phys. Rev. Lett. folyóiratban publikálták, és a dolgozat elnyerte az "Editors' Suggestion" címet.

### *Magfizikai alap kutatás*

Egy PPAC (Paralell Plate Avalanche Chamber) detektorrendszert fejlesztettek ki nehézionok szelektív detektálására. A detektorrendszert úgy tervezték, hogy szerves része legyen az oslói ciklotronlabor (OCL) SiRi  $\Delta E-E$  szilícium detektoraiból és a CACTUS NaI gamma-spektrométereiből álló mérőrendszernek. A kisnyomású gáztöltésű PPAC detektorok csak a nehézionokra (hasadványokra) érzékenyek, de érzéketlenek a szóródott, vagy a

magreakciókban keletkező könnyű töltött részecskékre. A SiRi, CACTUS és a PPAC detektorok fenti kombinációja új lehetőségeket nyitott a magszerkezet- és magreakció-vizsgálatokra az aktinoida tartományban.

Az atommagok Gamow-Teller (GT) átmenetei mind a héjszerkezetre, mind az effektív maradék-kölcsönhatásra érzékenyek. A jelen munkákban az  $A = 42, 46, 50,$  és  $54$  f-héjú atommagok GT-átmeneteit ( $^3\text{He}, t$ ) töltéscserélő magreakciókban vizsgálták. A  $^{42}\text{Ca} \rightarrow ^{42}\text{Sc}$  reakció esetén a legtöbb GT-erősség a legalacsonyabban fekvő gerjesztett állapotban ( $0,6 \text{ MeV}$ ) koncentrálódik, ami arra utal, hogy létezik egy alacsony energiájú GT-fonon gerjesztés. Amint a tömegszám növekszik, egy nagy energiájú GT-fonon gerjesztődése alakul ki a  $6-11 \text{ MeV}$  gerjesztésienergia-tartományban. A  $^{54}\text{Fe} \rightarrow ^{54}\text{Co}$  reakcióban már a nagy energiájú GT-fonon hordozza a GT-erősség nagy részét. Ezen két GT-fonon létét az atommagok 2-fermionikus szabadsági fokával magyarázták.

Az atommagokban a spontán szimmetriasértés egy új formájának, a királis forgásnak egy új aspektusát, nevezetesen a többszörös kiralitás jelenségét vizsgálták. A  $^{103}\text{Rh}$  atommagban észlelt forgási sávok tulajdonságait "korlátozott kovariáns sűrűség funkcionál elmélet" és "részcseke-rotor modell" számítások eredményeivel vetették össze. Ez alapján három királis sávpárt azonosítottak, és meghatározták a héjmodell-konfigurációikat. Azt találták, hogy a három királis sávpárból kettő ugyanahhoz a konfigurációhoz tartozik. Ilyen típusú többszörös kiralitást korábban még nem azonosítottak. A megfigyelt új típusú többszörös kiralitás azt mutatja, hogy az atommagokban a királis geometria egy adott konfiguráció belső gerjesztése ellenére is fennmaradhat.

Az EUROBALL - RIKEN együttműködés keretében végzett vizsgálatok jelentős része a  $^{132}\text{Sn}$ -on túli atommagok spektroszkópiájára koncentrált. A proton és a neutron egyrészcseke-energiáknak a változását vizsgálták a neutron-, illetve a protonszám függvényében. A  $^{131}\text{In}$   $p_{3/2}$  állapotának energiájából következtetni lehetett a  $Z=38/40$  alhéjzáródások megszűnésére  $N=82$ -nél, a  $^{136,138}\text{Sn}$  izomer-spektroszkópiájából pedig az  $N=90$  alhéjzáródás hiányát lehetett megmutatni  $Z=50$ -nél. A  $^{126}\text{Pd}$  izomer állapotainak spektroszkópiájából a proton-neutron tenzor erőnek a neutron  $h_{11/2}$  egyrészcsekeenergia-változására gyakorolt hatására lehetett következtetni.

A nehéz elemek nukleoszintézisének különböző folyamataiban, például a gamma-folyamatban, alfa-részecskék részvételével zajló magreakciók kulcsszerepet játszanak. A reakciók leírására használt elméletek egyik legfőbb problémája az alacsony energián nem kellő pontossággal ismert alfa-mag optikai potenciál. Ennek tanulmányozására elsőként alkalmazták egy  $(p,\alpha)$ -reakció hatáskeresztmetszetének mérését. A  $^{64}\text{Zn}(p,\alpha)^{61}\text{Cu}$  reakcióban az alfa-mag optikai potenciál közvetlenül az asztrofizikailag lényeges energiatartományban vizsgálható. Az eredmények közvetlenül bebizonyították az asztrofizikai modellekben használt optikai potenciálok nem megfelelő voltát, ami jelentősen befolyásolja a modellszámításokból nyert izotópgyakoriságokat.

Az ősrobbanásból származó  $^6\text{Li}$  izotóp esetén jelentős eltérés mutatkozik ezen izotópnak a világegyetemben észlelt és a modellek által számított mennyisége között. Mivel a  $^6\text{Li}$  izotóp főként a  $d(\alpha,\gamma)^6\text{Li}$  reakcióban keletkezik, így ennek a reakciónak a vizsgálata fontos az ellentmondás tisztázásához. Az ősrobbanásra jellemző energiatartományban azonban mindeddig nem állt rendelkezésre közvetlen kísérleti adat e reakció hatáskeresztmetszetére. A LUNA földalatti gyorsító lehetőségeit kihasználva elsőként mérték meg e reakció hatáskeresztmetszetét a releváns energiatartományban. Az eredmények megerősítik a számított és észlelt  $^6\text{Li}$ -gyakoriság közötti eltérést, így annak magyarázata valószínűleg a standard modellen túlmutatató fizikát igényel.

A nehéz, protongazdag magok, az úgynevezett  $p$  magok keletkezését reakcióhálózat-számításokkal modellezik, amelyhez szükséges hatáskeresztmetszet-adatokat a Hauser-Feshbach modell szolgáltatja. A  $^{162}\text{Er}(\alpha,\gamma)^{166}\text{Yb}$  és  $^{162}\text{Er}(\alpha,n)^{165}\text{Yb}$  reakciók vizsgálatával ellenőrizték a hatáskeresztmetszet-jóslatok pontosságát egy olyan magtartományban, amelyben eddig igen kevés kísérleti adat állt rendelkezésre. Az alfa befogási hatáskeresztmetszet neutronkibocsátási küszöb alatt való mérésével először vált lehetővé az  $A > 150$  magtartományban a statisztikusmodell-számításokban használt alfa+mag potenciál közvetlen tanulmányozása. Azt találták, hogy a kísérleti adatok elméleti reprodukálásához az alfa+mag optikai potenciál képzetes részének paraméterezését egy Fermi-típusú taggal szükséges kiegészíteni.

### *Magfizikai alkalmazások*

A PIGE technikához szükséges hatáskeresztmetszeteket mértek a jelenleg elérhető magfizikai adatok aktualizálása, ill. kiegészítése céljából, tekintettel az archeometriai és környezetkutató alkalmazásokra. Feldolgozták és publikálták korábbi mérési eredményeiket, méréseket végeztek nátrium céltárgyon, valamint bevezették a mélységi profilozásra alkalmazható differenciális DIGE módszert. A megjelent közlemények a magreakció-hatáskeresztmetszetek megfelelő pontosságú meghatározásához kifejlesztett kísérleti elrendezés bemutatását és a  $^{12}\text{C}$ ,  $^{14}\text{N}$ ,  $^{28}\text{Si}$  izotópokra meghatározott gamma- és részecskekeltési hatáskeresztmetszeteket tartalmazzák (19 hatáskeresztmetszet-adatsor). Az adatok elérhetők az IBANDL adatbázisban, és a gamma-keltési hatáskeresztmetszetek esetében mint ajánlott értékek járulnak hozzá a részecskeindukált gamma-emissziós módszerrel történő kvantitatív elemösszetétel- meghatározáshoz.

Protonnyalábos litográfia módszerével nagy oldalarányú egyenes és döntött mikrooszlopokat állítottak elő folyékony PDMS polimerben. A mikrostruktúrák a fókuszált ionnyalábbal való besugárzás hatására képződtek azáltal, hogy a polimerben keresztkötések keletkeztek. A megszilárdulás mértéke függ az alkalmazott ionfluenstól. Továbbá, az ionbesugárzás során a polimer bizonyos fizikai-kémiai tulajdonságai is jelentősen megváltoznak, mint pl. az adhéziója, törésmutatója vagy rugalmassági modulusa. E módszer lehetőséget nyújt tehát olyan mikrostruktúrák előállítására, melyek tulajdonságai hangolhatóak. Ez számos alkalmazásban lehet hasznos, mint pl. lab-on-a-chip eszközök, katalízis, orvosbiológia stb.

Orvosbiológiai kísérletekhez  $^{64}\text{Cu}$  és  $^{55}\text{Co}$  PET-radioizotópokat állítottak elő természetes nikkelfémekben az MGC-20 ciklotron protonnyalábjával végzett besugárzással. Az izotópokat a SOTE és a BME munkatársaival együttműködve alkalmazták. A targetanyagtól elválasztott PET-izotópok radionuklid tisztasága és igen magas specifikus aktivitása lehetővé teszi élő szervezetekben a sejtmembránokon levő specifikus receptorok mennyiségének és sűrűségének vizsgálatát is. A PET-izotópok célba juttatására affibody-k (Liposoma és intracelluláris vezikulum) jelzését végezték el  $^{64}\text{Cu}$ -el és  $^{55}\text{Co}$ -tal. A jelzett affibody-k alkalmasak preklinikai PET vizsgálatokra.

Orvosi alkalmazású terbium izotópok termeléséhez mechanikailag stabil gadolíniumréteget állítottak elő. Kis térfogatú elektrolizáló készüléket használtak, hogy a dúsított Gd-mal végzett későbbi kísérletekhez hasonló elektrolitkoncentrációt biztosítsanak. Egyenletes és jól tapadó Gd-rétegeket készítettek  $3\text{ mg/cm}^2$  vastagságig. A mintákon  $100\text{ nA}$  nyalábáramú,  $18\text{ MeV}$  protonokkal történő besugárzás után semmilyen elváltozás nem történik.

Folytatták a töltött részecske-indukált magreakciók szisztematikus vizsgálatát ritkaföldfém céltárgyakon új kísérleti hatáskeresztmetszet-adatok meghatározásával és publikálásával. A vizsgálatok referencia-adatbázisok létrehozását, a megfelelő elméleti modellek kidolgozását segítik és az adatok gyakorlati alkalmazását is magukban foglalják. Vizsgáltak p-, d- és  $^4\text{He}$ -

indukált magreakciókat Be, Al, V, In, Nb, Mo, Pd, Rh, Au, W, és Hg céltárgyanyagokon. Meghatározták a  $^{100}\text{Mo}(p,2n)^{99\text{m}}\text{Tc}$  reakció abszolút amplitúdóját. Meghatározó szerepet vállaltak a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség által indított két CRP projektben. Részt vettek az NRDC munkájában kísérleti adatok kompilálásával az EXFOR adatbázis részére.

Spektrometriai és dozimetriai méréseket végeztek kvázimonoenergiás d+D neutronokkal 9.62 MeV deuteronenergiánál. Az MGC-20E ciklotron mellett üzemelő deutériumgáz-céltárgyas neutronforrást (ATOMKI QM-FNS) használták. A neutron-gamma diszkrimináció egy NE-213 folyadékszintillátoros detektorral és digitális jelfeldolgozással történt. A mérések egyik célja a felhasznált algoritmusok vizsgálata volt. Validálták a besugárzások szimulációjára kidolgozott Monte Carlo módszert is. Megmérték a kevert neutron-gamma mezőre vonatkozó relatív neutronérzékenységet egy Mg-Ar ionizációs kamra esetén, mely széleskörűen használt a neutronokkal végzett sugárbiológiai célú besugárzások monitorozásához.

Radioizotópok ipari és orvosi alkalmazásának területén 2014-ben az újonnan felmerülő további mintaformátumokra besugárzó berendezéseket fejlesztettek ki, teszteltek és használtak. A megszerzett tapasztalatok alapján módosításokat hajtottak végre a besugárzások optimalizálásra. Kevésbé szokványos radioizotópok használatát is optimalizálták és továbbfejlesztették az alacsony százalékos arányban előforduló mintaösszetevők alapján való aktiválást. A méréseket a szabadforgalmi szintű aktivitások felhasználásra optimalizálták. További magfizikai reakciók hatáskeresztmetszet-adataival bővítették a meglévő irodalmat és a NAÜ által fenntartott adatbázisokat, főként a proton- és deuteronindukált magreakciók terén, de néhány alfa- és  $^3\text{He}$ -részecske-indukált reakcióra is születtek eredmények.

Az Atomkiban kifejlesztett és 2013-ban (eredetileg kisállat-vizsgálatokra) installált MiniPET-3 kisméretű és nagy feloldású pozitron emissziós tomográf kamera alkalmas kémiai felületek, azon belül a katalízisfolyamatok nyomon követésére is. Az intézet kutatási eredményeire (ChemPlusChem, 78, 2013, 830–836) hivatkozva az Eindhoveni Műszaki Egyetem Vegyészmérnöki Tanszéke (Hollandia) együttműködésre kérte fel az atomkis kutatókat. A holland egyetemen speciális katalizátorokat fejlesztettek ki, és annak hatékonysága, deaktiválódásának folyamata jól tanulmányozható a miniPET kamera segítségével. A katalízisfolyamatok optimalizálva lettek a PET-leképezéshez.

### *Atomfizikai alap kutatás*

Az ütközési folyamatok -bizonyos feltételek fennállása esetén- erősen függenek a bombázó részecskék töltésének előjelétől, ezért a részecskékkel és antipárjukkal végzett kísérletek az atomi ütközési elméletek igen érzékeny ellenőrzését teszik lehetővé. A közeljövő nagy gyorsítófejlesztési projektjei által sok nagyságrendes intenzitásnövekedésre lehet számítani például az antiproton nyaláb esetén. Ez is indokolta az alábbi elméleti vizsgálatokat: Az egyik munkában teljesen differenciális hatáskeresztmetszeteket határoztak meg a hidrogén atom antiprotonok (és protonok) által kiváltott ionizációjára vonatkozóan a klasszikus pályák számításán alapuló Monte Carlo módszer, valamint a folytonosan torzított hullámú közelítést alkalmazó kvantummechanikai modell felhasználásával. A pályák analízise során csak gyenge korrelációt találtak a nehéz és könnyű részecskék mozgásában. A másik vizsgálatban az antiprotonok széles bombázóenergia-tartományára meghatározták az héliumatom egyszeres és kétszeres ionizációs hatáskeresztmetszeteit a hatdimenziós teljesen korrelált időtől függő Schrödinger-egyenlet megoldásával. Az eredmények teljesen konvergáltak, és jelenleg a legpontosabb ismert ab initio számítást jelentik. Az energia és szórási szög szerinti kétszeresen differenciális hatáskeresztmetszeteket is kiszámolták 10 és 100 keV energián.

Kimutatták az úgynevezett anticusp-ot és a kétszeres szóráshoz kapcsolódó csúcsot, melyek jól mutatják az erős ütközés utáni taszítást az elektron és antiproton között.

A mágneses-optikai csapdázási technika alkalmazása reakciómikroszkópban - lehetővé téve preparált céltárgyak alkalmazását - új távlatot nyitott az atomi ütközések fizikájában. Napjainkban a lítiumatom a vizsgálatok egyik kedvenc céltárgya. Kapcsolódva a kísérleti vizsgálatokhoz, elméletileg tanulmányozták a nagyenergiájú  $H^+$  és  $O^{8+}$  - Li ütközésekben lejátszódó ionizáció folyamatát. Perturbációs és csatolt-csatornás eljárásokat alkalmazva úgy találták, hogy a függetlenrészecke-közelítés elég pontos leírását adja a külső héjakról történő elektronemisszióknak. Ugyanakkor a belső héjakról történő elektronkilökődés értelmezésekor az elektronkorreláció szerepére is rámutattak.

Kísérletileg tanulmányozták az asztrofizikai és élettani folyamatokban releváns negatív és pozitív ionok keletkezéséhez vezető molekulaszétesési folyamatokat 7 keV energiájú  $OH^+$  + Ar ütközésekben. A létrejövő  $H^-$  és  $H^+$ -ionok nagyon hasonló szög- és energiaeloszlást mutatnak, amelyek jól értelmezhetőek egy hidrogénatom Coulomb-szórási folyamatával. Ezek a megfigyelések azt sugallják, hogy a H-ionok végleges töltéseloszlása nem függ attól, hogy az mennyire térül el az ütközés során, hanem egyszerű statisztikai törvényszerűségeket mutat.

Lineárisan polarizált szinkrotronsugárzással kiváltott egyszeres ionizációs folyamatokat vizsgáltak kísérletileg nemesgázatomokon és hidrogénmolekulán, nagy energia- és szög-feloldású fotoelektron-spektroszkópia módszerével. A mért szögeloszlások hol balra ( $-180^\circ$  □  $0^\circ$ -os szögtartomány), hol pedig jobbra ( $0^\circ$  □  $+180^\circ$ ) mutattak nagyobb értékeket a foton impulzusához viszonyítva. Megállapították, hogy az aszimmetriaparaméterek – a külső héj típusától függően -  $+0.1$  és  $-0.1$  értékek között oszcilláló függvényekkel írhatóak le a 70-320 eV fotoelektron-energiatartományban. A megfigyelt, nullától különböző aszimmetriaparaméterek felvetik annak lehetőségét, hogy egy ismeretlen vektor vagy pszeudovektor típusú kölcsönhatási potenciál is szerepet játszik a fotoionizációban.

A PETRA III szinkrotron (DESY, Hamburg, Németország) P04 nyalábszatornáján egy speciális foton-ion spektrométer segítségével (PIPE, „merged beam” kísérlet) a  $Xe^{q+}$  ( $q=1-5$ ) ionok gerjesztési/ionizációs hatáskeresztmetszeteit vizsgálták a  $3d$  rezonáns gerjesztéseinek megfelelő fotonenergia-tartományban (500-1200 eV). A kísérleti hatáskeresztmetszetek azt mutatják, hogy a rezonanciaszerkezet egyre bonyolultabb, ahogy az elsődleges ionok töltése növekszik. A mért adatokat egy Dirac-Fock számolással hasonlították össze, amely a megfigyelt rezonanciaszerkezetet nem tudta reprodukálni, ugyanakkor a nem rezonáns tartományon a mért és számolt hatáskeresztmetszetek jól egyeztek.

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

A közvetlen hangyasavas üzemanyagcellákban alkalmazott palládiumkatalizátorok hosszú üzemidejű stabilitásának a növelése céljából sokfalú szén nanocső (MWCNT) hordozójú Pd-ZrO<sub>2</sub>-katalizátorokat készítettek és termokémiai módszerrel hőkezelték. Ezeket a katalizátorokat a hangyasav elektro-oxidációjára alkalmazva tesztelték egy üzemanyagcellában, kémiai összetételüket és szerkezetüket XPS, STEM, HR-TEM és XRD módszerekkel tanulmányozták. Azt találták, hogy a szintézist követően a Pd-ZrO<sub>2</sub>/MWCNT katalizátor működése alatt a cella feszültsége oszcillált, amely jelentősen nagyobb deaktivációs ellenállást eredményezett a Pd/MWCNT katalizátor esetén tapasztalhatótnál. Ez a „mérgezett” Pd katalizátor esetében az adszorbeált CO elektrokémiai oxidációja során gáz állapotú CO<sub>2</sub> keletkezésével járó „öntisztító” mechanizmusnak tulajdonítható.

Li fém egykristály és Li 1s nívó gerjesztése esetében modellezték a fotoelektronok felületi és tömbi plazmon energiaveszteségi spektrumát és annak függését a kristályban a felülettől mért mélység függvényében. A kvantum Landau-formula alkalmazásával teljes mértékben figyelembevették a fotoelektronok energiaveszteség előtti és utáni többszörös rugalmas szórását, valamint leírták a többszörös plazmonkeltés folyamatát. A Li 1s fotoelektronok veszteségi plazmoncsúcs-intenzitása esetében a rugalmas elektronszórás jelentősen módosítja a mélységi profilt. A rugalmas elektronszórás hatása megváltoztatja a felületi és tömbi plazmoncsúcsok relatív intenzitását is, a Li esetében ez az arány kicsit nagyobbak adódott, mint a rugalmas szórás figyelembevétele nélkül, jelezve, hogy a Li-atomok gyenge szóró centrumok, és a defókuszáló hatás miatt csak a kis mélységben fekvő emitterek járuléka dominál.

Másodlagos semleges részecskét használó tömegspektrométer (SNMS) alkalmazásával elemkoncentrációk mélységi elemeloszlását határozták meg tűzihorganyással készített minták színes felületi oxidrétegein. Röntgenfotoelektron-spektroszkópia alkalmazásával vizsgálták továbbá a felületi rétegben mért összetevők kémiai állapotát. Megállapították, hogy a tűzihorganyzás hűlési periódusa alatt a titán a 0,15 tömeg%-os Ti-tartalmú olvadékból titán-oxid (TiO<sub>2</sub>) réteget képezve a felületre diffundál. A hűtés szobahőmérsékletű levegőn történt. Megmutatták, hogy az olvadék hőmérsékletétől függően változik a felületen kialakuló oxidréteg vastagsága, ezzel különböző színű (sárga, piros, kék) horganyzott felületeket hozva létre.

Hazai és nemzetközi együttműködés keretében tömegspektrometria (SNMS) és röntgendiffrakciós módszerek alkalmazásával Pt/Fe és Pt/Ag/Fe vékonyfilmek esetében kimutatták, hogy a FePt és 10 at.% Ag-t tartalmazó FePt homogén reakciórétegek szemcsehatár-kontrollált szilárdtest-reakció eredményeként jönnek létre a térfogati atommozgási folyamatok „befagyása” mellett. A tömegspektrometriás módszerrel elvégzett mélységprofil-analízis eredménye megmutatta, hogy a reakcióréteg az eredeti szemcsehatárokon merőlegesen fejlődik az idő előre haladtával. A röntgendiffrakciós mérésekkel igazolták az L10 FePt fázis jelenlétét, melynek létrejötte elengedhetetlen ezen anyagok mágneses adattárolóként való használatához.

### *Környezetfizika*

A Cseh Masszívum komplex kutatásához csatlakozó vizsgálataik során a melilites kőzetek keletkezésére 79,5 – 61,3 M év és a monchiquit-kanptonit sorozat kőzeteire 30,9 – 23,0 M év korokat határoztak meg. Nyugat-Csehországban a gyengén alkáli és az erősen alkáli kőzetsorozatok korát határozták meg (13,5 – 10,2 M év, ill. 18,3 – 6,25 M év). Méréseik alapján a Cseh Középhegységben a trachitos, trachandezites és fonolitos vulkáni működés 33,8 és 23,1 M év között zajlott le.

Módszerfejlesztés keretében módosították az eddig alkalmazott 1 mg széntartalmú széndioxid gázra kidolgozott zárt-csőves grafitizálási eljárást (vas katalizátor, cink és titán-hidrid reagens). A titán-hidrid elhagyásával azonos mérési bizonytalanság mellett növelni tudták a kinyerhető ionáramot, ezzel jó alapot teremtve a mikrogramm széntartalmú mintagázok grafitizálási eljárásának kidolgozásához. Optimalizálták az eljárást 25 - 100 µg széntartalmú mintákra a MICADAS típusú gyorsító tömegspektrométeren végzett radiokarbonvizsgálatokhoz. Eredményeiket bemutatták nemzetközi konferencián (13. AMS konferencia), illetve két kéziratot benyújtottak a Radiocarbon és a Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B folyóiratokhoz.

A Magyarországon található multistacked gáztelepek összetétele színes képet mutat. A Pannon Medence alatti köpeny sekély pozíciója magas hőmérsékleti gradienst okoz, mely

megkönnyíti, hogy a felső köpeny olvadékából eredő CO<sub>2</sub> elérje a medence üledékes összletét. Kutatásaik során kimutatták, hogy a répcelaki (CO<sub>2</sub>– HC– N<sub>2</sub>) és a mihályi (CO<sub>2</sub>) gáztelep stabilizotóp geokémiai és hélium izotóparányos elemzése alapján a szén-dioxid köpeny eredetű. A répcelaki és a mihályi telep gázösszetétele és vertikális változékonysága magyarázható egy kétkomponensű keveredéssel, ahol az egyik tag a köpeny eredetű magmás CO<sub>2</sub>-fluidum, míg a másik egy nitrogénben gazdag, kéreg eredetű szénhidrogén gázttest. Mindazonáltal még elképzelhető, hogy egyéb folyamatok is módosították a gázok összetételét. A szén-dioxid izotóp-összetétele egyaránt megegyezik a karbonát bomlásból származó és a köpenyi eredettel. A répcelaki és a mihályi gázok hélium izotóparányában szintén megmutatkozik az összetételbeli különbözőség.

Negyedévente cserélt maratottonyom-detektoros radonmérésekkel kimutatták, hogy az Aggteleki Nemzeti Park területén található Rákóczi I-es barlang légterében az évi átlagos <sup>222</sup>Rn-aktivitáskoncentráció viszonylag alacsony (3 kBqm<sup>-3</sup>), térben nem változik jelentősen, viszont szezonális változást mutat, ami a barlangi légtér téli időszakban való természetes szellőzésével magyarázható.

Megmérték a Paksi Atomerőmű és a Püspökszilágyi Radioaktív Hulladék-Feldolgozó és Tároló talajvízkútjaiból származó vízminták szerves és szervetlen eredetű fajlagos radiokarbon-tartalmát. Bizonyos esetekben a szerves frakcióban nagyságrendekkel eltérő fajlagos aktivitáskoncentrációk jelentkeztek, melynek felismerése jelentős eredménynek számít. Jelenleg a hazai és nemzetközi gyakorlatban a nukleáris létesítmények talajvízbe történő radiokarbon-kibocsátásának ellenőrzése a szervetlen frakcióra korlátozódik. A kutatás eredményei alapján viszont mindenképpen indokolt lenne az eddig figyelmen kívül hagyott szerves frakció radiokarbon-tartalmának mérése is. A nukleáris létesítményeink talajvízeinek teljes oldott radiokarbon-koncentrációjának ismeretében pontosabb képet kaphatunk a környezetbe jutó radioaktív szennyezés mértékéről, amely a pontos dózisszámításokhoz elengedhetetlen.

A nehezen mérhetőnek nevezett izotópok közé tartozó <sup>107</sup>Pd folyékony radioaktív hulladékokban mutatkozó tartalmának elemzésére szolgáló elválasztási eljáráson belül új, hatékony Pd – Ag szeparációs technika került bevezetése. Több lépcsős királyvizet roncsolás után a palládiumot vízben könnyen oldódó formába, az ezüstöt pedig vízben nem oldódó formába alakítva, az utóbbi nagy hatásfokkal eltávolítható szűréssel. Ebből eredően az induktív csatolású tömegspektrométerrel végzett mérés fajlagos háttere a 107-es tömegszámánál szignifikánsan csökkent, a kimutathatósági határ pedig javult: 1 Bq/l-re, sőt radiokémiailag könnyebben kezelhető minták esetében már 1 Bq/l alá. Ez utóbbi tartomány már összevethető a <sup>107</sup>Pd radioaktív hulladékokra várt aktivitáskoncentráció szintjével.

Új 8 csatornás nedváramlásmérő rendszert állítottak össze és telepítettek a Debreceni Egyetem Síkfőkút Project erdőterületén üzemelő 15-csatornás mérőrendszer bővítéséért. Juharfák (*Acer campestre*), továbbá különböző tölgyek és hibrideik egyedei esetén mérték a vízforgalmat jellemző növénytanai mennyiségek és a fatörzsek átmérőjének időfüggését. Mérték a talajnedvességet, a talajhőmérsékletet és a meteorológiai adatokat is. A tenyészidőszak nagy részét lefedő idősorokat kaptak egy olyan évre, amikor az ország ezen részén nem volt szárazság. Az adatok jól használhatóak a kocsánytalan tölgy (*Quercus petraea*) és a csertölgy (*Quercus cerris*) klímaváltozásra adott válaszainak jobb megértése szempontjából.

Az Atommagkutató Intézet területén két éves folyamatos mintavételezés alatt több mint ötven aeroszolmintát sikerült gyűjteni a PM<sub>2,5</sub> frakcióból izotópanalitikai vizsgálatokra. A fosszilis/biogén szén mennyiségének arányát mutató C-14 méréseket nagyérzékenységű MICADAS típusú gyorsító tömegspektrométerrel végezték. A minták széntartalmának



mérése Delta <sup>+</sup>XP típusú tömegspektrométerrel történt, on-line EA/IRMS módszerrel. Meghatározásra kerültek a légköri aeroszol széntartalmának fosszilis, illetve recens szén frakciói, amelyek utalnak az aeroszol forrására. A kétéves periódus alatt kapott szénizotópteredmények alapján télen jóval több szén van az aeroszolban, aminek fő forrása nem a fosszilis szén fokozott jelenléte, hanem a friss biológiai szén légköri mennyiségének erőteljes növekedése (a jelenkori szén aránya átlagosan 0,72, míg télen ~0.8), amelyet valószínűleg a lakossági olcsóbb fatüzeléstől származó hozzájárulás ad.

## **II. b) Tudomány és társadalom**

Az Atomki a 2014-es év folyamán a következő rendezvényekkel érte el a nagyközönséget: disszeminációs pályázat, Kutatók Éjszakája, Színpadon a Természettudomány, Fizikusnapok, valamint látogatócsoportok rendszeres fogadása.

Az Atomki tudományos eredményeinek terjesztése és népszerűsítése – Megérthető-elérhető fizika (TÁMOP-4.2.3-12/1/KONV-2012-0057) disszeminációs pályázat legsikeresebb programja az Utazó Fizika. Ennek során az Atomki fiatal munkatársai kísérletekkel tarkított rendhagyó fizika órákat tartottak az észak-alföldi régió 10 hátrányos helyzetű településének középiskolájában. A téma félévente megújult; a tavaszi félév témája a „hideg-meleg” volt, mivel 300 éve készítette el Fahrenheit az első higanyos hőmérőt, az őszi félév témája az energia, mert 300 évvel ezelőtt mondta ki Leibniz az energiamegmaradás törvényét. A két félév során a hallgatóság összlétszáma 1523 volt.

Az Ismeretterjesztő Nap keretében a nyári szünet előtt tudományos útravalóval láttuk el a debreceni középiskolásokat. Az Utazó Fizika előadásain kívül megismerkedhettek a természet erőműveivel és vegykonyháival, a csillagokkal. A résztvevők létszáma 271.

Az Utazó Fizika és az Ismeretterjesztő Nap előadásairól videófelvétel készült, így az ismeretek interneten keresztül is elérhetővé váltak más iskolák és minden érdeklődő számára.

A pályázat keretében alkalmazott tudományos újságíró közreműködésével rendszeresen megjelentek az Atomkiról, annak kutatóiról és tudományos tevékenységeiről készült közérthető cikkek megyei és országos lapokban. Ezenkívül maguk a kutatók is számos ismeretterjesztő cikket írtak, és rádiós, televíziós ismeretterjesztő műsorokban szerepeltek.

A Kutatók Éjszakája alkalmával a részecskefizikával ismerkedhetett a mintegy 180 főnyi kitartó nézősereg, virtuális látogatást téve az olasz Gran Sasso-i földalatti laboratóriumban.

A Színpadon a Természettudomány (Science on Stage) országos válogatóját az Atomkiban rendezték meg. A 42 tanár matematika, fizika, kémia, biológia és informatika tárgyakból mutatta be új ötleteit. A rendezvényre nézőként csaknem 200 gyerek és felnőtt is ellátogatott.

A Magyar Tudomány Ünnepe debreceni megnyitóját az Atomkiban tartották megalapításának 60. évfordulója tiszteletére. A színes előadásokon túl a vendégek megismerkedtek az intézet laboratóriumaival és megtekintették a 60 évet bemutató kiállítást.

A Fizikusnapokat 35. alkalommal rendezte meg az Atomki, idén az energia témakörében. Az esemény révén az intézet részt vett a Magyar Tudomány Ünnepe keretében futó Kutatóhelyek Tárt Kapukkal programban. Négy napon keresztül hangzottak el előadások az energetika tárgyában, melyre általános iskolástól nyugdíjas korúig jöttek érdeklődők, összesen 215 fő. A hét folyamán a délelőtti órákban iskolás csoportok érkeztek Debrecenből és más településekről, sőt Erdélyből is, hogy a meghirdetett 27-féle rendhagyó óra valamelyikét meghallgassák; 63 rendhagyó óra hangzott el, melyen összesen 1645 látogatóórát töltöttek az intézetben.

Fentiekén kívül az év során 21 látogatócsoport érkezett az intézetbe (általános és középiskolások, egyetemisták, felnőtt érdeklődők) és összesen 1446 látogatóórát töltöttek el. A Látogatóközpontban a radioaktív sugárzás tulajdonságaival és kimutatásával, a hidegfizikai bemutató alkalmával pedig az alacsony hőmérsékleten lejátszódó jelenségekkel ismerkedtek az érdeklődő csoportok.

### III. A kutatóhely hazai és nemzetközi kapcsolatai 2014-ben

A Debreceni Egyetem intézményeivel és a Wigner Fizikai Kutatóközponttal való együttműködésnek meghatározó szerepe van az intézet hazai kapcsolataiban, de széleskörű az együttműködés más intézményekkel is.

A "Hideg-meleg" és az "Energia" elnevezésű interdiszciplináris workshopot 2014. május 15-én, illetve október 2-án rendezték meg az Atomkiban. A témák hazai szakértői érdekes előadások keretében világitották meg a mindennapjainkat átszövő kérdések tudományos hátterét.

2014. november 14-én az intézet Környezetanalitikai Laboratóriuma ülést rendezett a 15 éve elhunyt kutató Hertelendi Ede emlékére. Az elhangzó előadások visszaemlékezést jelentettek a laboratórium alapítójának tevékenységére, és képet adtak a környezetkutatás jelenlegi eredményeiről.

A felsőoktatásban való részvétel 2014-ben is fontos szerepet töltött be az intézet kutatóinak tevékenységében. A Debreceni Egyetemmel fenntartott hagyományos kapcsolatok mellett a Szegedi Tudományegyetemen is oktattak az Atomki kutatói. A beszámolási időszakban meghirdetett 58 kurzus keretében 1020 tantervi óra megtartásával járultak hozzá az oktatáshoz. A gyakorlati órák száma 2014-ben 531 volt, 70 kurzus keretében. Az oktatásban összesen 40 kutató vett részt. A pregraduális oktatás mellett fontos terület a doktori képzés. A Fizikai Doktori Iskola törzstagjai közül 7 az Atomki kutatója. A beszámolási időszak folyamán 22 PhD-, 10 diplomamunkás, 13 szakdolgozó és 7 TDK-hallgató dolgozott az intézetben, a témavezetésre fordított órák száma összesen 3590 volt. Az intézetben folytatódott a kutatóhallgatói ösztöndíjas program, amelynek keretében egyetemisták vállalnak részt a kutatómunkában. A tavaszi és az őszi félévben 6, illetve 8 ösztöndíjas vett rész 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.

2014. július 7-11. között rendezte meg az Atomki a XIII. NIC elnevezésű (Nuclei in the Cosmos) című konferenciát. A vizsgálatok élvonalához tartozó konferenciasorozat 1990 óta két évente rendezik meg a világ különböző pontjain. Németország és Ausztrália után 2014-ben Magyarország adhatott helyszínt Debrecenben a magfizikusok, asztrófizikusok, úrkémikusok rangos nemzetközi találkozójának. A konferenciasorozat szerves részét képezi az előtte tartott iskola, melyre június 30. és július 4. között került sor az Atomkiban.

2014-ben egy másik két évente sorra kerülő konferenciasorozatnak is helyszíne volt Debrecen. Július 13-18. között a szilárd testekben végbe menő atomi ütközések nemzetközi konferenciáját (International Conference on Atomic Collisions in Solids) rendezte meg az intézet ICACS - 26 jelzéssel. A témakörhöz tartozó jelenségek széles körét vitatták meg a résztvevők.

Az Atomki Külső Tanácsadó Testülete 2014. október 13-án tartotta ülését az intézetben, ahol az atomfizikai kutatás és a magfizikai alkalmazások helyzetét vitatták meg.

Az egyiptomi Nukleáris Kutatóközpontból fél évnél hosszabb időt töltött az intézetben egy kutató, aki a ciklotronalkalmazások területén folytatott vizsgálatokat.

#### **IV. A 2014-ben elnyert fontosabb hazai és nemzetközi pályázatok rövid bemutatása**

Lezárult az első beüzemelési szakasza annak a Tandetron típusú, új részecskegyorsítónak, amelyet a Magyar Tudományos Akadémia infrastruktúra-pályázatán elnyert támogatásból szerzett be az intézet. A Tandetron részecskegyorsítót az Atomki több kutatócsoportja együtt pályázta meg. Széles témakörben végeznek majd rajta alap- és alkalmazott kutatásokat a magfizika, nukleáris asztrofizika, atomfizika, ionnyaláb-analitika és mikromegmunkálás területén.

Az intézet 2013-as pályázatainak közül 30-nál a teljes összeg 10 millió Ft fölött volt, 20-nál pedig 20 millió Ft fölött. Az alábbiakban felsoroljuk ezt a 20 pályázatot, és megadjuk, hogy a pályázatból mekkora összeg az Atomkié, valamint hogy 2014-re ebből mennyi jutott.

NFÜ: Impulzuslézerek alkalmazása, 493440 e Ft – 4392 e Ft

NFÜ: Jövő Internet kutatások, 1587727 e Ft – 14040 e Ft

NFÜ: Az Atomki tudományos eredményeinek terjesztése, 99190 e Ft – 37142 e Ft

NFÜ: Célzott kémiai és biológiai alapkutatások, 899600 e Ft – 5931 e Ft

NFÜ: Intelligens funkcionális anyagok, 793737 e Ft – 41606 e Ft

NFÜ: Környezetbiztonságos forrasanyagok, 603981 e Ft – 19793 e Ft

NFÜ: Ágazati felkészítés - hazai ELI projekt, 60343 e Ft – 31583 e Ft

NFÜ: Kommunikációs protokoll kutatása, 224 327 e Ft – 27 921 e Ft

NFÜ: Előrehaladott képzési rendszer, 160 954 e Ft

MVM Paksi Atomerőmű Zrt.: Környezeti radiokarbon, 20 803 e Ft – 10 555 e Ft

MVM Paksi Atomerőmű Zrt.: Nehezen mérhető izotópok, 26 150 e Ft – 14 750 e Ft

EU: A jövő laboratóriuma, 2448339 EUR – 7627 EUR

EU: CHARISMA, 246446 EUR

OTKA: Molekuláris ütközések dinamikája, 25 792 e Ft – 9096 e Ft

OTKA: Nyitott kvantumrendszerek, 21 740 e Ft – 6108 e Ft

OTKA: Korrelációk az atommagokban, 31008 e Ft – 5952 e Ft

OTKA: Neutrondetektorok fejlesztése, 29985 e Ft – 3369 e Ft

OTKA: Korrelációs folyamatok fotoionizációban, 27744 e Ft – 3336 e Ft

OTKA: Mikrocsatornák készítése protonnyalábbal, 34418 e Ft – 4948 e Ft

OTKA: Magyarország az LHC CMS kísérletében, 26904 e Ft

#### **V. A 2014-ben megjelent jelentősebb tudományos publikációk**

Gyürky Gy, Fülöp Zs, Halász Z, Kiss G G, Szücs T:

Direct study of the  $\alpha$ -nucleus optical potential at astrophysical energies using the  $Zn^{64}(p,\alpha)Cu^{61}$  reaction.

Phys Rev C, 90: 052801. (2014)

<http://arxiv.org/abs/1411.4827>

Vértesi T, Brunner N:

Disproving the Peres conjecture by showing Bell nonlocality from bound entanglement.

Nature Com, 5: 5297. (2014)

<http://arxiv.org/abs/1405.4502>

Lattouf E, Juhasz Z, Kovacs S T S, Bene E, Herczku P, Sulik B, et al. (10):  
Formation of anions and cations via a binary-encounter process in  $\text{OH}^+ + \text{Ar}$  collisions: The role of dissociative excitation and statistical aspects.  
Phys Rev A, 89: 062721. (2014)  
<http://arxiv.org/abs/1501.03423>

Ricz S, Buhr T, Kövér Á, Holste K, Borovik A Jr, Varga D, et al.(8):  
Experimental investigation of left-right asymmetry in photon-atom interaction.  
Phys Rev A, 90: 013410. (2014)  
<http://arxiv.org/abs/1501.04833>

Kuti I, Chen QB, Timár J, Sohler D, Zhang SQ, Zhang ZH, et al. (13):  
Multiple chiral doublet bands of identical configuration in Rh 103.  
Phys Rev Lett, 113: 032501. (2014)  
<http://arxiv.org/abs/1407.2769>

Tura J, Augusiak R, Sainz AB, Vértesi T, Lewenstein M, Acín A:  
Detecting nonlocality in many-body quantum states  
Science, 344: 1256-1258. (2014)  
<http://arxiv.org/abs/1306.6860>

Mohr P:  
Unexpected properties of the  $33\text{S}(\alpha, p)36\text{Cl}$  reaction cross section at low energies.  
Phys Rev C, 89:(5) Paper 058801. (2014)  
<http://arxiv.org/abs/1404.6046>

Salamon P, Lovas RG, Id Betan RM, Vertse T, Balkay L:  
Strictly finite-range potential for light and heavy nuclei: Strictly finite-range potential for light PET isotopes.  
Phys Rev C, 89: 054609. (2014)  
<http://arxiv.org/abs/1210.1721>

Csedreki L, Uzonyi I, Szikszai Z, Gyürky Gy, Szíki GÁ, Kiss ÁZ:  
Measurement of gamma-ray production cross sections for nuclear reactions  $14\text{N}(d,p\gamma)15\text{N}$  and  $28\text{Si}(d,p\gamma)29\text{Si}$ .  
Nucl Instrum Meth B, 328: 20-26. (2014)  
<http://hdl.handle.net/2437/203132>

M Giordano, T G Kovacs, F Pittler:  
Universality and the QCD Anderson Transition.  
Phys Rev Lett, 112: 102002. (2014)  
<http://arxiv.org/abs/1312.1179>

Stuhl L, Krasznahorkay A, Csatlós M, Algora A, Gulyás J, Kalinka G, Timár J, et al. (11):  
A neutron spectrometer for studying giant resonances with (p,n) reactions in inverse kinematics.  
Nucl Instrum Meth A, 736: pp. 1-9. (2014)  
<http://arxiv.org/abs/1310.6431>

Lévai G, Ruzicka F, Znojil M:  
Three solvable matrix models of a quantum catastrophe.  
Int J Theor Phys, 53: 2875. (2014)  
<http://arxiv.org/abs/1403.0723>

Makovec A, Berruti G, Consales M, Giordano Michele, Szillási Z, Béni N, et al. (9):  
Radiation hard polyimide-coated FBG optical sensors for relative humidity monitoring in the CMS experiment at CERN.

J Instrum, 9:(3) 3040. (2014)  
<http://dx.doi.org/10.1088/1748-0221/9/03/C03040>

Kiss G G, Szücs T, Török Zs, Fülöp Zs, Gyürky Gy, Halasz Z, Somorjai E et al. (8):  
Alpha induced reaction cross section measurements on Er-162 for the astrophysical gamma process.  
Phys Lett B, 735: 40. (2014)  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.physletb.2014.06.011>

Csedreki L, Uzonyi I, Szíki GÁ, Szikszai Z, Gyürky Gy, Kiss ÁZ:  
Measurements and assessment of  $^{12}\text{C}(d,p\gamma)^{13}\text{C}$  reaction cross sections in the deuteron energy range  
740–2000 keV for analytical applications.  
Nucl Instrum Meth B, 328: 59. (2014)  
<http://hdl.handle.net/2437/203131>

Huszánk R:  
Irradiation induced chemical and physical effects in silicones.  
In: Atul Tiwari, Mark D Soucek (szerk.)  
Concise Encyclopedia of High Performance Silicones. New York: Wiley, 2014. 75-84

Szelecsényi F, Kovács Z, Nagatsu K, Ming-Rong Zhang, Suzuki K:  
Excitation function of (p, alpha) nuclear reaction on enriched  $^{67}\text{Zn}$ : Possibility of production of  $^{64}\text{Cu}$   
at low energy cyclotron.  
Radiochim Acta, 102:(6) 465. (2014)  
<http://real.mtak.hu/5475/>

Szücs Z, Takács S, Alirezapour B:  
Development of cost effective method for production of  $^{64}\text{Cu}$  from natNi.  
J Radioanal Nucl Chem, 302:(2) 1035. (2014)  
<http://real.mtak.hu/21319/>

Ditrói F, Tárkányi F, Takács S, Hermanne A:  
Proton-induced cross-sections of nuclear reactions on lead up to 37MeV  
Appl Rad Isot, 90: 208. (2014)  
<http://arxiv.org/abs/1411.1901>

Takács S, Takács MP, Hermanne A, Tárkányi F, Adam-Rebeles R:  
Excitation functions of longer lived radionuclides formed by deuteron irradiation of germanium.  
Nucl Instrum Meth B, 336: 81. (2014)  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.nimb.2014.06.017>

Papp A, Csikai J:  
Use of thermal neutron reflection method for chemical analysis of bulk samples.  
Nucl Instrum Meth B, 758: 26 (2014)  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.nima.2014.04.068>

Sarkadi L, Gulyás L:  
Classical-trajectory Monte Carlo model calculations for the antiproton-induced ionization of atomic  
hydrogen at low impact energy.  
Phys Rev A, 90: 022702. (2014)  
<http://arxiv.org/abs/1501.03943>,

Gulyás L, Egri S, Kirchner T:  
Differential cross sections for single ionization of Li in collisions with fast protons and  $\text{O}^{8+}$  ions.  
Phys Rev A, 90: 062710. (2014)  
<http://arxiv.org/abs/1501.03656>

- Bene Erika, Bacchus-Montabonel Marie-Christine:  
Theoretical study of charge exchange dynamics in He<sup>+</sup> + NO collisions.  
Eur Phys J D, 68:(6) 167. (2014)  
<http://arxiv.org/abs/1404.3635>
- Lesiak B, Stobinski L, Malolepszy A, Mazurkiewicz M, Kövér L, Tóth J:  
Preparation of graphene oxide and characterisation using electron spectroscopy.  
J Electron Spectr, 193: 92. (2014)  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.elspec.2014.03.015>
- Katona G, Vladymyrskyi I A, Makogon I M, Sidorenko S I, Kristály F, Csik A, et al. (11):  
Grain boundary diffusion induced reaction layer formation in Fe/Pt thin films.  
Appl Phys A, 115:(1) 203. (2014)  
<http://hdl.handle.net/2437/182100>
- Tokési K, Dubois RD, Mukoyama T:  
Interaction of positronium with helium atoms - The classical treatment of the 5-body collision system  
Eur Phys J D, 68:(9) 255. (2014)  
<http://dx.doi.org/10.1140/epjd/e2014-40800-9>
- Benkó Z, Molnár F, Lespinasse M, Billström K, Pécskay Z, Németh T:  
Triassic fluid mobilization and epigenetic lead-zinc sulphide mineralization in the Transdanubian Shear Zone (Pannonian Basin, Hungary)  
Geol Charp, 65:(3) 177. (2014)  
<http://dx.doi.org/10.2478/geoca-2014-0012>
- Újvári G, Molnár M, Novothny Á, Páll-Gergely B, Kovács J, Várhegyi A:  
AMS 14C and OSL/IRSL dating of the Dunaszekcső loess sequence (Hungary): chronology for 20 to 150 ka and implications for establishing reliable age–depth models for the last 40 ka.  
Quat Sci Rew, 106: 140. (2014)  
<http://real.mtak.hu/19147>
- Palcsu L, Vető I, Futó I, Vodila G, Papp L, Major Z:  
In-reservoir mixing of mantle-derived CO<sub>2</sub> and metasedimentary CH<sub>4</sub>–N<sub>2</sub> fluids – Noble gas and stable isotope study of two multistacked fields (Pannonian Basin System, W-Hungary).  
Marine Petr Geol, 54: 216. (2014)  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2014.03.013>
- Bihari A, Dezso Z, Bujtás T, Manga L, Csige I, Mogyorósi M, et al. (10):  
Fission products from the damaged Fukushima reactor observed in Hungary.  
Isot Environ Health Stud, 50:(1) pp. 94. (2014)  
<http://real.mtak.hu/21034/>
- Simon E, Baranyai E, Braun M, Cserhádi Cs, Fábíán I, Tóthmérész B:  
Elemental concentrations in deposited dust on leaves along an urbanization gradient.  
Sci Tot Environm, 490: 514. (2014)  
<http://hdl.handle.net/2437/197464>
- Szigeti T, Kertész Z, Dunster C, Kelly FJ, Záray G, Mihucz VG:  
Exposure to PM<sub>2.5</sub> in modern office buildings through elemental characterization and oxidative potential.  
Atm Environ 94: 52. (2014)  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.05.014>