

## ATOMMAGKUTATÓ INTÉZET

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

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

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

### I. A kutatóhely fő feladatai 2011-ben

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

### II. A 2011-ben elért kiemelkedő kutatási és más jellegű eredmények

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

##### *Kvantumfizika*

Kvantumkorrelációkat vizsgálva valódi többrésű összefonódottságot detektálni képes egyenlőtlenségeket találtak bármely mérésszám mellett. A módszer eszközfüggetlen, és a 3-kubites Greenberger-Horne-Zeilinger állapotra optimális abban az értelemben, hogy ha a mérések száma végtelenhez tart, akkor a zajtolerancia 2/3-os küszöbértéke semmilyen 3-résztvevős egyenlőtlenséggel sem javítható.

Megmutatták, hogy a nemlokalitás nemadditív erőforrás, amely aktiválható. Konkrétan olyan részecskepárokat vizsgáltak, amelyeken végzett mérések közötti korrelációk klasszikusak (nem sértik a Clauser-Horne-Shimony-Holt-féle Bell-egyenlőtlenségeket). Ugyanakkor két ilyen részecskepárt véve a tenzorszorzat-állapot már az egyenlőtlenség sérüléséhez vezethet. A módszerek könnyen általánosíthatók kettőnél több részecskés nemlokalitás aktiválására is.

Az atommagok fázisátmenetinek tanulmányozása kapcsán megvizsgálták az atommagok fűrtösödését leíró félmikroszkopikus algebrai klasztermodellt. Értelmezték a modell egy fenomenologikus határesetét, amelyben a nukleonokra vonatkozó Pauli-elvet figyelmen kívül hagyták. Mindkét esetben azonosítottak első- és másodrendű fázisátmeneteket is. Példákként a  $^{16}\text{O}$ +alfa és  $^{20}\text{Ne}$ +alfa rendszereket tekintetve megállapították, hogy a Pauli-elvet figyelmen kívül hagyó modellből kapott energiaspektrum jelentősen különbözik a megfigyelttől.

A nemrelativisztikus kvantummechanika legáltalánosabb egzaktul megoldható potenciálfeladatát a hatparaméteres Natanzon-féle potenciálosztály képviseli. Megoldásokat eddig csak speciális esetekben vezettek le, pl. az ún. alakinvariáns potenciálokra. A hiányosságok pótlására a Natanzon-féle osztály egy olyan négyparaméteres halmazát tekintették, amely megoldásait a Jacobi-polinomok adják, és amelyek speciális esetként tartalmazzák mind a hat ennek megfelelő alakinvariáns potenciált. Kimutatták, hogy e hat potenciál páronként egymásba transzformálható a paraméterter három diszjunkt halmazán.

Az atommagok olyan potenciáljainál vizsgálták a szórásátlós komplex energiájú pólusainak trajektóriáit, amelyek egy véges értéktől kezdve azonosan nullák. Ilyenek a levágott Woods-Saxon (WS) potenciál és a Salamon-Vertse (SV) potenciál, amely simán megy át a nullába. Kimutatták, hogy WS esetén a rezonanciatrajektóriák erősen függnak a levágási távolságtól.

A  $^{6,8}\text{He}$  magok töltéssugarainak értelmezése kapcsán a magok külső neutronjainak korrelációját vizsgálták a komplex energiájú konfigurációs kölcsönhatás módszerével. A  $^8\text{He}$  töltéssugarának csökkenése a  $^6\text{He}$ -hoz képest három tényező összjátékának eredménye: di-

neutron korreláció, spin-pálya kölcsönhatás és a magtörzs megnövekedése. Megmutatták, hogy a  ${}^6\text{He } 2_1^+$  rezonanciaállapotában a di-neutron szögekoreláció más jellegű, mint az alapállapotbeli.

Héjmodell-számolással megadták a  ${}^{56}\text{Ni}$  atommag kísérletből ismert szuperdeformált állapotának leírását. Ugyanaz a modell jóslatot adott a hiperdeformált állapot, sőt még megnyúltabb alakok léteire is. A szerzők szisztematikusan megvizsgálták a talált alakizomérek lehetséges bináris fűtődését (klaszterizációját) is. Eredményeik útmutatást adnak arra nézve, hogy milyen magreakciókban lehet keresni ezeket az egzotikus állapotokat.

A Hartree-Fock-Bogoljubov-egyenletekhez tartozó, nem-kötött kvázirészecskék spektrumát a határfeltételek explicit megadása nélküli módszerekkel tanulmányozták. A stabilizációs módszert az igen keskeny rezonanciáktól eltekintve mindenhol alkalmazhatónak találták.

### *Részecskefizika*

A CERN nagy hadronütköztetője, az LHC, 2011 folyamán végig messze az eredetileg tervezett hatékonyság fölött működött. A kísérleti berendezések működtetésében az Atomki kutatóinak fontos szerep jutott. A CMS-kísérlet detektorának a debreceni csoport által épített és üzemeltetett része, a barrel-műon-detektor helyzetmeghatározó rendszere az LHC üzemelése alatt végig hibátlanul működött. Atomki-kutatók dolgozták ki a CMS észlelőrendszer biztonsági felügyeletének forgatókönyvét, és domináns szerepük van a detektor ellenőrzőrendszerének üzemeltetésében. Tevékeny részt vállaltak a CMS szíve, a részecskepályák meghatározásában kulcsszerepet játszó pixel-detektor üzemeltetésében és kalibrációjában is. A vizsgálatok egyik fő eredménye, hogy a Higgs-részecske lehetséges tömegét a két nagy LHC-kísérlet, a CMS és az ATLAS, 115 és 130 GeV közé szorította.

A részecskefizika-fenomenológia területén folytatták a második QCD sugárzási korrekciók elméletének kidolgozását. A négyfajta duplán feloldatlan levonási tagból kettőt sikerült integrálniuk a feloldatlan partonok fázistere felett. Eljárást adtak e bonyolult integráloknak elegetően pontos, gyors numerikus számítására.

Két szabadon elérhető számítógépes program ötvözésével olyan parton-szintű eseményeket generáltak, amelyek partonzápor Monte Carlo programok segítségével egészen a hadron szintig fejleszthetők. Ezzel a módszerrel pontos becslést adtak proton-proton ütközésekben  $t\bar{t} + X$  végállapotok hatáskeresztmetszeteire, ahol X egy nagyenergiájú részecskét jelent a Standard Modelben (Higgs-részecske, Z-részecske, hadronikus jet), illetve a Minimálisan Szuperszimmetrikus SM-ben (pszeudoskalár Higgs-részecske).

A bozonizáció és a renormálási csoport kapcsolatát vizsgálva sikerült a kétdimenziós alacsonyenergiás kvantumszindinamika viselkedését meghatározni. A bozonizációt felhasználva egy új módszert dolgoztak ki a renormálási csoport sémafüggésének optimalizálására.

### *Magfizikai alapkutatás*

Az atommag szerkezetének megértésében fontos szerepet játszó mágikus számok a protonok és neutronok arányának jelentős változása esetén eltolódnak. Könnyű ( $N, Z < 20$ ) magokban ennek a proton-neutron monopol kölcsönhatás az oka. Ez az egyrészecske-energiákat neutronsám-függővé teszi. Kutatóink a  ${}^{39,41}\text{Si}$  magok szerkezetét a GANIL nehézionlaboratóriumban vizsgálva kimutatták, hogy nehezebb magokban, ahol a mágikus számok nem oszcillátor-héjzáródáshoz kapcsolódnak, a valenciaprotonok és -neutronok számával arányosan erősödő kvadrupólkorreláció relatíve nagy héjközöknél is deformálni tudja az atommagot.

A Nukleáris Kémia Kézikönyvének 2. kiadása 2011-ben jelent meg, jelentősen kibővítve és átszerkesztve, 6 kötetben, számos Atomki-beli cikkel. A főként magfizikát tartalmazó I. kötet az Atomki kutatója szerkesztette.

Az  $^{232}\text{U}$  atommag hasadási valószínűségét a  $^{231}\text{Pa}(^3\text{He},\text{df})$  reakcióban 11 keV energiafelbontással vizsgálták. 4,8 MeV gerjesztési energia körül hiperdeformált, 5 MeV gerjesztési energia körül pedig szuperdeformált magalakra jellemző rotációs sávokat találtak.

A PPAC detektorokból készült  $4\pi$  térszögű OBELISK detektorrendszert alkalmassá tették töltött részecske-indukált hasadás vizsgálatára.

Feldolgozták a hasadási termékek bomlásánál keletkező reaktorhő jelentős járulékát adó néhány magas olvadáspontú izotóp bétabomlásának korábban általuk mért kísérleti adatait.

A Debrecenben épített LENA (Low Energy Neutron detector Array) prototípusát Los Alamosban tesztelték és a GEANT szimulációs számításokkal hasonlították össze az eredményeket. A szimuláció eredménye jól egyezett a kísérleti válaszfüggvénnyel. A LENA detektor inverz kinematikájú (p,n) reakcióban keletkező, kisenergiás neutronok detektálására készült. Az első sikeres kísérleteket Darmstadtban, a GSI-ben az R3B és EXL együttműködéseken az elmúlt év végén végezték vele.

A Sc izotópok spin-izospin dipólus gerjesztéseit ( $^3\text{He},t$ ) töltéscserélő reakcióban az osakai RCNP-ben 420 MeV-es bombázó energiánál vizsgálták nagy energiafelbontással. Mindegyik állapotra megmérték a szögeloszlást, ezek alapján kiválogatták a dipólusgerjesztéseket, és elsőként határozták meg a relatív spin dipólus erősségek eloszlását. A  $^{40}\text{Sc}$  esetén az alacsonyan fekvő spin-dipólus erősségeloszlás különös, periodikus jeleget mutat, amely egy  $\hbar\omega = 1.8$  MeV paraméterrel rendelkező puha csillapított többfononos vibrációs sávra emlékeztet, ami esetleg a nukleonpárok vibrációjával értelmezhető.

A  $^{92}\text{Pd}$  atommag gerjesztett állapotait vizsgálták a  $^{58}\text{Ni}(^{36}\text{Ar},2n)$  fúzió-párolgás típusú magreakcióban. Az  $N=Z$  magokban különösen erős korreláció várható az azonos kvantumszámokkal jellemzett állapotokban lévő protonok és neutronok között. A kísérleti eredmények héjmodell-számításokkal történt összevetése alátámasztja, hogy ezen atommagban az izoskalár proton-neutron párkölcsönhatás megjelenik, és fontos szerepet játszik a gerjesztett állapotok tulajdonságainak kialakításában.

A királis-jelölt  $^{134}\text{Pr}$  atommag közepes- és nagyspinű gerjesztett állapotait vizsgálták a  $^{116}\text{Cd}(^{23}\text{Na},5n)$  magreakcióban. Meghatározták az állapotok jellemzőit, és számos új forgási sávot azonosítottak. Kimutatták, hogy ezek egyike királis párja lehet a korábban azonosított királisjelölt sávok valamelyikének. Ez felveti a  $^{134}\text{Pr}$  mag királis jellegének újragondolását.

A  $^{155}\text{Gd}$  közepes- és nagyspinű állapotait gerjesztették  $^{154}\text{Sm}(\alpha,3n)$  reakcióban. Kimutatták, hogy az  $[505]1/2$  kvázineutron egyrészecske-állapot csatolódik a  $^{154}\text{Gd}$  gamma-vibrációs sávjához, de nem csatolódik a korábban beta-vibrációs tekintett sávhoz. Ez az eredmény alátámasztja, hogy a  $^{154}\text{Gd}$  első gerjesztett  $0^+$  állapotára épülő sáv nem beta-vibrációs sáv, hanem egy második kvázirészecske-vákuum állapotra épülő sáv.

A  $^{79}\text{Kr}$  nagyspinű állapotait vizsgálták  $^{70}\text{Zn}(^{13}\text{C}, 4n)$  reakció felhasználásával, a  $\pi g_{9/2}^2 \otimes \nu g_{9/2}^{-1}$  konfigurációnak megfelelő királis forgási sávpár kimutatása céljából. Azonosították egy oldalsáv néhány állapotát, amelyek jó jelöltek a keresett királis partnersávra.

Bebizonyították, hogy a karakterisztikus röntgensugárzás detektálásán alapuló aktivációs módszer alkalmas a nehéz magok tartományában asztrofizikai jelentőségű  $\alpha$ -indukált reakciók hatáskeresztmetszetének mérésére. A módszer hatékonyságát a  $^{169}\text{Tm}(\alpha,\gamma)^{173}\text{Lu}$  reakció vizsgálatával demonstrálták és megmutatták, hogy az elméleti számítások jelentősen túlbecslik a mért hatáskeresztmetszetet.

A  $^{110}\text{Cd}$  és  $^{116}\text{Cd}$  magokon végzett nagy pontosságú rugalmas szórás mérésekkel kimutatták, hogy a globális optikai potenciálok nem képesek reprodukálni a szórás hatáskeresztmetszeteket, illetve azok proton- és neutronszámtól való függését.

A  $^{14}\text{N}(\text{p},\gamma)^{15}\text{O}$  reakció kísérleti vizsgálatával új, pontosabb értéket határoztak meg a reakció extrapolált S-faktorára, mely a hidrogénégés CNO ciklusa szempontjából nagy jelentőségű.

A  $^{15}\text{N}(\text{p},\gamma)^{16}\text{O}$  reakció hatáskeresztmetszetét minden eddiginél alacsonyabb energián mérve jóval kisebb értéken pontosították a reakció hidrogénégési folyamatokra jellemző sebességét.

Az asztrofizikai szempontból fontos  $^2\text{H}(\text{d},\text{p})^3\text{H}$  and  $^2\text{H}(\text{d},\text{n})^3\text{He}$  reakciók hatáskeresztmetszetét határozták meg az ún. Trójai Faló indirekt mérési technika alkalmazásával 1,5 MeV és 2 keV energiatartományban.

Japán kutatókkal együttműködésben a  $^{27}\text{P}$  rezonanciaállapotainak vizsgálatával a  $^{26}\text{Si}(\text{p},\gamma)^{27}\text{P}$  reakció nívókban történő lejátszódási valószínűségét határozták meg.

Befejezték az  $A=129$  tömegszámhoz tartozó összes ismert nuklid szerkezetére vonatkozó új kísérleti adatok kritikai kiértékelését. Összegyűjtötték és kritikailag kiértékeltek az  $A=128$  tömegszámhoz tartozó összes ismert nuklid szerkezetére vonatkozó új kísérleti adatokat, megtörtént a publikálás előkészítése.

### *Magfizikai alkalmazások*

Protonnyalábos mikromegmunkálással konvex mikrolencsemátrixot készítettek, miután meghatározták az ionnyaláb hatására végbemenő kompaktálódást, kémiai és törésmutató-változást a poli(dimetilsziloxán) polimer (PDMS) anyagban.

A kulturális örökség megőrzése érdekében folyó CHARISMA EU FP7-es projekt keretében 7 mérősorozatot végeztek 2011-ben, összesen 10 külföldi kutatót fogadtak Belgiumból, Bulgáriából, Görögországból, Németországból és Romániából. Vizsgáltak őskori betétes és antik kerámiákat, piramisokból származó mintákat, bizánci aranyozott üvegmozaikokat, kárpát-medencei leleteket, középkori dísz tárgyakat és textilekben alkalmazott fém szálakat.

A pásztázó nukleáris mikroszkóp berendezés két  $\text{Si}(\text{Li})$  detektoros PIXE (C-Ca/Ca-U) mérőrendszerét HP(Ge) és NaI(Tl) gamma-detektorokkal, valamint egy korszerűsített, pA-érzékenységű „beam chopper”-rel egészítették ki. A PIGE technika alkalmazásával a fluor detektálási határértékét ~0,01%-ra csökkentették.

Dél-afrikai együttműködésben,  $^{166}\text{Ho}/^{166}\text{Dy}$ , valamint  $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$  generátorokkal végzett kísérletekkel bizonyították, hogy a béta-sugárzó izotópok is mutathatnak a magvisszalökődésre hasonlító jelenséget, ha bomlásukat Auger-kaszkádnak kíséri. Becslési módszert adtak a kémiai kötés energiájára más béta-bomló izotópok esetén is. Ennek nagy jelentősége lehet az in vivo radioizotópos terápiában, és forradalmasíthatja a lantanidák radioizotópjainak elválasztását.

Újszerű izotópos módszerrel tanulmányozták a különböző vas és króm felületi helyek szerepét a metanol katalitikus átalakulásában cérium-oxid hordozón.  $A^{12}\text{C}$ - és  $A^{11}\text{C}$ -jelzett metanol egymást követő alkalmazása lehetővé teszi a katalitikusan aktív felületek, ezen belül a gyenge és erős kémiai kötések meghatározását. Az alkalmazott gázkromatográfiás analízis során a hagyományos detektorok mellé egy radioaktivitást mérő detektort is beiktattak.

Alkalmazási célokra, magadat mérésekkel töltött részecske-reakciók aktivációs hatáskeresztmetszetét és hozamát vizsgálták. Deuteron-besugárzással végeztek méréseket Mg, Nd, Yb, Cr, Tb, Dy, Si, Eu, Pb, Sb, Tb, C, Sc, Gd-céltárgyakon a belgiumi Cyclone90 ciklotronnál.

A saját fejlesztésű epitermikus neutronanalizátor (ETNA) alkalmazhatóságát vizsgálva átfogó tanulmányt készítettek azokról a módszereikről, melyekben neutronokkal történő expozíciót használnak a vizsgált térfogatban levő robbanóanyagok és kábítószerek kimutatására.

Gyorsneutronokkal polikristályos CVD gyémánt alapú eszközöket sugároztak be a RadiCal EU FP7 projekt számára. A külföldi partnerekkel együttműködve tanulmányozták a

neutronok okozta sugárkárosodási hatásokat. A téma keretében nagy sugárzástűrűségű on line doziméter mátrixok fejlesztése folyik elsősorban sugárterápiás célokra.

Az ausztriai AC<sup>2</sup>T intézettel együttműködésben új módszereket dolgoztak ki kopás, korrózió és erózió radioaktív izotópokkal történő vizsgálatára, és ezt a gyakorlatban is alkalmazták.

A NAÜ FENDL 3 projektje részére adatbázist készítettek proton- és deuteronindukált reakcióknak a fontosabb szerkezeti anyagokra vonatkozó aktivációs hatáskeresztmetszetére nagy intenzitású gyorsítók és céltárgyrendszerek tervezéséhez és sugárvédelméhez.

Vizsgálták a <sup>201</sup>Tl, <sup>123</sup>I, <sup>167</sup>Tm, <sup>99</sup>Mo(<sup>99m</sup>Tc), <sup>113</sup>Sn/<sup>113m</sup>In, <sup>177g</sup>Lu, <sup>76,77</sup>Br, <sup>88,89</sup>Zr orvosi izotópok előállítás körülményeit, különös tekintettel a keletkező szennyező radioizotópokra.

A PHARMATOM projekt keretében a radiokémiai labor felújítása befejeződött (Két forrófülke, <sup>18</sup>F, és <sup>11</sup>C izotópokkal jelzett radiofarmakonok előállítására szolgáló készülékek). A kémiai szintézisek folynak, a célvegyületek előállításának optimalizálása folyamatban van.

### *Atomfizikai alapkutatás*

Nagyenergiájú csupasz ionok H és He atomokon történő szóródását vizsgálták Born- és torzított hullámú közelítésben. A vizsgálatok a szögeloszlásban megfigyelhető ún. kritikus szögek értelmezésére irányultak. Számításaik egyelektron-gerjesztések esetén egyetlen kritikus szóródási szög jelenlétét mutatják. Ez ellentmondásban van a közelmúltban végzett egyszeres elektronbefogási kísérlet eredményével. Ott a fenti kritikus szögön kívül további szögeknél is megfigyeltek csúcsokat. A többszörös szórás elméletek szerint több kritikus szöget csak két vagy több elektron gerjesztődésével járó folyamatok eredményezhetnek.

H<sup>0</sup> + He ütközésre végeztek méréseket az Atomki 1,5 MV-os Van de Graaff gyorsítóján. A motivációt G. Laricchia és csoportjának mérései adták. A londoni csoport pozitroniumnak (Ps) atomokon és molekulákon történő szóródását vizsgálta, és azt a meglepő eredményt kapta, hogy a Ps-hatáskeresztmetszetek nagy hasonlóságot mutatnak az ugyanolyan sebességű elektronok szóródási hatáskeresztmetszeteivel. A két lövedék (H<sup>0</sup> és Ps) összehasonlítása azért szempontból érdekes, mert mindkettő semleges, különbség csak a tömegükben van.

A töltés-kicserélődési reakciót tanulmányozták elméletileg keV-es energiájú C<sup>2+</sup> - HCl ütközésekben. Kimutatták, hogy a töltés-kicserélődést a bemeneti és a legmagasabb energiájú kimeneti csatorna közötti erős nem-adiabatikus radiális csatolás vezérli, és a hatáskeresztmetszet 3 keV ütközési energiánál maximumot mutat. Ez a viselkedés teljesen eltér a hidrogén-fluorid céltárgyas ütközés esetében kapott, 'két-elkerült-kereszteződéses' folyamatától, ahol a töltés-kicserélődési hatáskeresztmetszet az ütközési energiával fokozatosan nő. Az eltérés a töltéskicserélődés erősen rendszerspecifikus jellegére utal, azaz hasonló elektronkonfigurációjú céltárgyak esetében is különböző mechanizmus várható.

Négyatomos Renner-Teller-típusú molekulák (pl. acetilén kation) energiaszintjeinek degenerációit vizsgálták, a molekulát a lineáris konfigurációjából kismértékben elhajlítva. A degenerált állapotokra kidolgozott másodrendű perturbációs elmélet segítségével kimutatták, hogy ilyenkor a Renner-Teller-típusú degeneráció két, kónikus jellegű degenerációvá hasad fel, melyek relatív térbeli helyzetére reciprok összefüggés teljesül.

Modellezték a néhány keV energiájú OH<sup>+</sup> + Ar és OH<sup>+</sup> + CH<sub>3</sub>COCH<sub>3</sub> ütközésekben észlelt H<sup>-</sup> anionok keltésének mechanizmusát. Megmutatták, hogy a H<sup>-</sup> ionok keltése akkor valószínű, ha mindkét ütköző partneren található többelektronos atomi centrum.

Víz és metán molekulák szétesését vizsgálták közepes (65 keV/u) energiájú N<sup>+</sup> ionbombázással a VdG-5 újonnan kiépített nyalábcsatornáján. Az ütközésekben a többszörös ionizációt követő fragmentációs csatornák bizonyultak dominánsnak.

Az elektron-ciklotronrezonanciás (ECR) ionforráson plazmadiagnosztikai méréseket végeztek. A nagyfelbontású látható fény és röntgen fotók egymással és számítógépes szimulációkkal való összevetéséből értékes információkat kaptak a plazma elektronkomponenséről és az ionok csapdázásáról.

Vasplazmát állítottak elő az ECR ionforrásban, miután kicserélték a NdFeB radiális mágnescsapdát és megnövelték az axiális mágneses teret. Az így nyert nagytöltésű vasionokat az előre elkészített fullerén ( $C_{60}$ ) rétegekbe implantálták. A vasatomok jelenlétét a várt és kiszámított mélységben az Atomki SNMS berendezésével igazolták. Ez volt az első lépés a végső cél egy új fullerénanyag, a szénketrecbe zárt vasatomok előállítására irányában.

Atom- és molekulafizikai kísérletekben a molekuláris és negatív ionok egyre jelentősebb szerepet játszanak. Az ECR ionforrással  $H^-$ ,  $O^-$ ,  $OH^-$ ,  $O_2^-$ ,  $C^-$ ,  $C_{60}^-$  negatív ionnyalábot ( $\mu A$  intenzitással) és  $H_2^+$ ,  $H_3^+$ ,  $OH^+$ ,  $H_2^+$ ,  $H_3^+$ ,  $O_2^+$  pozitív molekulaion-nyalábokat ( $mA$  intenzitással) állítottak elő. Az ATOMKI-ECRIS újra bebizonyította, hogy különböző követelményeket (plazmafizikai kutatások, alacsonyenergiás atomfizikai mérések, alkalmazások) is ki tud elégíteni egy ilyen többcélú berendezés.

A Kr  $4p$  fotoelektronjainak szögeloszlását mérték olyan fotonenergia-tartományban, ahol a  $3d$  elektronok rezonáns gerjesztése is lejátszódik. Az elektronspektrumokból meghatározták a bal-jobb aszimmetriaparaméterek gerjesztő fotonenergiától való függését. Azt tapasztalták, hogy az aszimmetriaparaméterek érzékenyek a direkt ionizációs és a  $3d$  rezonáns gerjesztési csatornák közötti kölcsönhatásra. Fontos megfigyelés, hogy a  $3d_{5/2} \rightarrow 5p$  rezonanciánál az aszimmetriaparaméter – a  $4p$  fotoelektronok mindkét spin-pálya komponensére – pozitívból negatívvá válik, majd újra pozitív lesz 250 meV-es fotonenergia-tartományon belül.

Az Atomki ECR ionforrásánál 3 keV-os  $Ar^{7+}$  ionok áthaladását vizsgálták polikarbonát fóliában (PC) sűrűn elhelyezkedő nanokapillárisokon, a hollandiai KVI Zernike LEIF laboratóriumban pedig  $Ne^{7+}$  ionok terelődését polietilén-teraftalát (PET) fóliában kialakított, ugyancsak nagy sűrűségű kapilláris mintákban. Az ionterelődés a sűrű mintáknál is mindig szabályosan kialakult, ám egy idő után a kapillárisok részlegesen, vagy teljesen elzáródtak. Az elzáródási hajlam a kapilláris hosszával növekedett, de a lövedék energiájával csökkent. Elemzésük szerint az elzáródást a kapillárisok nagy sűrűsége esetén a minták elektromos túltöltődése okozza, ám a különböző anyagoknál a mechanizmus nem teljesen azonos. Míg PET mintáknál az átjutott semleges atomok többnyire a kapillárisok bejáratánál keletkeznek, PC minták esetén döntő többségük a kapillárisok kijárata környékéről származnak.

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

$Ar^+$ -ionbombázással módosított, hőkezelt Pd-Au ötvözetek elektronspektroszkópiai módszerekkel történő tanulmányozásával a komponensek felületi koncentrációjának változását vizsgálták. Ezek a rendszerek a tüzelőanyag-cellákban történő alkalmazásuk miatt fontosak.

Az urán és transzurán vegyületek VVER típusú nyomottvizes reaktor rozsdamentes acél szerkezeti anyagain történő akkumulációját tanulmányozták laboratóriumi modellkísérletekben, egy országos projekt keretében. A kísérleti eredmények azt mutatják, hogy a transzurán vegyületek monorétegnél kisebb mennyiségben vannak jelen a felületen, míg a főként  $UO_2$  -ként azonosítható uránvegyület mennyisége a felületen nagyobb, mint egy monoréteg.

Fém hordozóra felvitt grafénrétegek és a fém-grafén határrétegek kémiai szerkezetét határozták meg XPS módszerrel a Koreai-Magyar Közös Nanotudományi Laboratórium keretében budapesti és koreai kutatókkal végzett közös kutatások során.

Új anyagtudományi és felületfizikai laboratóriumot alakítottak ki az Atomkiban. A laboratóriumban helyet kapott az MTA Kémiai Kutató Központja által átadott laterális feloldással és monokromátorral rendelkező ESCASCOPE elektronspektrométer is.

Szinkrotronsugárzással keltett Fe 1s és Ni 1s fotoelektron-spektrumokat vetettek össze modellszámításokkal. Eredményeik megerősítik az elektronszórás-korrekcióra alkalmazott eljárásuk és az 1s vonalak aszimmetriájának leírására használt modellük érvényét.

Pd szubsztrát felületére felvitt Ni nanoréteg példáján megmutatták, hogy a szinkrotronsugárzásos, ún. szögfeloldású keményröntgen fotoelektron-spektroszkópiai módszer alkalmazható nagyenergiájú fotoelektronok fémekre vonatkozó gyengítési hosszának meghatározására.

Kiterjedt Monte Carlo számításokkal vizsgálták a többszörös elektronszórás hatását szilárdtestekről visszaszóródott elektronok spektrumaira. A számításokat gyémánt- és HOP-mintákra és relativisztikus elektronenergiákra végezték el.

Elsőként vizsgálták az ionterelés hőmérsékletfüggését a terelési jelenség mechanizmusának, a kapilláris belső felületén kialakuló töltésfolt felépülésének és dinamikájának alaposabb megértéséhez. Ez az ionterelés optimalizálása, az alkalmazások szempontjából is fontos. Ehhez új hűthető-fűthető mintatartót terveztek. A mérések a Bécsi Műszaki Egyetemen történtek.

A 300-1000 eV energiatartományban megvizsgálták az elektronok egyedi, makroszkópikus méretű üvegkapillárison történő átvitelét. A kísérletek az elektronterelés energia- és időfüggése szempontjából is számos új megfigyeléshez vezettek.

Elektrokémiai leválasztással előállított lágymágneses vékonyfilmek mélységi elemösszetételét, szerkezetét vizsgálták egy erre kifejlesztett mélységprofil-analízis módszerrel. Ezzel a hordozó-közelitartomány nm-es mélységi feloldással elemezhető, és a néhány 100 nm vastagságú NiCd, NiSn, FeCoNi, CoNi és CoNiCu ötvözetekből készített vékonyfilmek előállításakor lejátszódó elektrokémiai folyamatok tanulmányozhatók. Megállapították, hogy a kiválási folyamatban fellépő összetétel-változás az első 150 nm-es zónára szűkül a preferenciális leválási folyamat és az elektrolit katódközelit kiürülési folyamata által megszabott módon.

Kémiai gázleválasztási technikával előállított félvezető Ga, As és Ge filmekben a leválasztás alatti diffúziós folyamatokat vizsgálták. Kidolgoztak egy eljárást, amivel az előállítás során fellépő nemkívánatos atomi keveredéseket gátolni lehet. Kémiai gázleválasztási technikával előállított ZnO rétegek - melyek optikailag áteresztő és elektromosan is jól vezető tulajdonságokkal rendelkeznek - termikus stabilitását vizsgálták vékonyfilm-napelemekben történő felhasználás céljából. Az eredmények a magyarországi napelemgyártásban hasznosulhatnak.

Elektrokémiai rétegleválasztásos technikával előállított Co/Pb ferromágneses/szupravezető rétegszerkezetek elektronvezetési mechanizmusát vizsgálták alacsony hőmérsékleteken a hőmérséklet és az elemösszetétel függvényében. Kísérletileg igazolták, hogy a szakirodalom állításával ellentétben CoPb ötvözetet elő lehet állítani elektrokémiai módszerrel.

Elméleti számolásokkal vizsgálták és analizálták az időben változó mágneses térbe helyezett szuperparamágneses tulajdonságú nanorészecskék energiaveszteségi folyamatait.

Nanoporokat állítottak elő nagy energiájú mechanikai őrléssel szuperionos kristályokból kompozitok és kerámiák készítése, majd azok fizikai tulajdonságainak kutatása céljából (a DE KFI és az Ungvári Egyetemen együttműködésben). A porok kristályszerkezetét és szemcseméret-eloszlását XRD módszerrel tanulmányozták.

Kis teljesítményigényű, kis zajú előerősítőt készítettek szilícium lavina-fotodióda (APD) kiolvasású CsI(Tl) töltött részecske-detektorokhoz vákuumban történő üzemeltetés céljára.

Szilícium lavina-fotodióda (APD) kiolvasású CsI(Tl) detektor és digitális részecskeidézskrimináció együttes alkalmazásával sikerült a proton/alfa szeperáció küszöbenergiáit a korábban fotodióda-kiolvasással és analóg idézskrimináció segítségével elért  $\approx 2.1 \text{ MeV} / 4.5 \text{ MeV}$  értékről  $\approx 1.2 \text{ MeV} / 3.2 \text{ MeV}$  értékre csökkenteni.

Meghatározták a monolit, nem szegmentált, szcintillátorra alapozott helyzetérzékeny detektorral elérhető 3-dimenziós térbeli feloldóképességet korlátozó tényezőket és meghatározták a feloldás leírására szolgáló formulákat.

A plazmon keltését és bomlását is figyelembe vevő modelljük segítségével megvizsgálták az elektronok energiaveszteségi folyamatait InSb-ben. Az elektronspektroszkópiái (REELS) mérésekből arra a következtetésre jutottak, hogy az energiaátadásban meghatározó plazmonszélesség túl nagy volta alapján nem várható jó feloldás InSb detektorokkal, még a keskeny tiltott sáv szélessége ellenére sem.

Elkészítettek egy  $18 \times 18$  elemű, egyenként  $10 \text{ mm}^2$  érzékeny felületű szilícium fotoelektronsokszorozóból felépített helyzetérzékeny fotodetektor-mátrixot egy  $49 \times 49 \text{ mm}^2$  összfelületű,  $35 \times 35$  elemű LYSO szcintillátortűkből felépített mátrix segítségével kialakítandó MRI kompatibilis kisállat-PET detektoregység létrehozása céljából.

### *Környezetfizika*

A K-Ar kronológiai kutatás terén összefoglaló tanulmány készítettek a San Salvadorban végzett vulkanológiai és geokronológiai vizsgálatok eredményeiről. Az antarktiszi projektben magyar-lengyel együttműködésben King George Island-ot tanulmányozták. Mélységi és kiömlési magmás kőzetek kronológiája kapcsán méréseket végeztek a Cseh Masszívumban és a Dunántúlon. Agyagászványok kormeghatározásával ksfokú metamorfitek átalakulási idejét vizsgálták. A földművelés hatásának vizsgálták hazai talajokon.

A Hertelendi Ede Környezetanalitikai Laboratóriumban megtörtént az EnvironMICADAS gyorsító C-14 tömegspektrométer (AMS) telepítése és átfogó tesztje. Lezajlott az AMS C-14 méréséhez szükséges mintaelőkészítő módszerek kidolgozása, a szükséges rendszerek építése, beüzemelése és átfogó tesztje: szilárd szerves és szervesetlen mintákra, külön a régészeti mérésekhez a csontok kollagénjére, valamint vízkorméréshez vízben oldott szervesetlen szénre. Egyszerre nyolc párhuzamos zártcsöves grafitizációs reakciócella együttes kezelésére alkalmas egyedi gázkezelőrendszert építettek ki, és átfogó tesztet végeztek a MICADAS típusú gyorsító tömegspektrométerrel. Egyéves légköri aeroszol C-14 mérési sorozatot végeztek Debrecen belvárosában gyűjtött havi átlagmintákból, párhuzamosan az ugyanitt végzett légköri  $\text{CO}_2$  radiokarbon mérésével.

Új, az eddig ismerteknél jobb és jobban standardizálható módszer vezettek be a cseppkövek folyadékzárányaiban lévő nemesgázok méréstechnikájához. A tyúktojás fehérjében lévő víz stabilizotóp-összetételének mérése céljából új módszert fejlesztettek ki, összefüggést kerestek a fehérje és az itatóvíz izotóp-összetétele között. Forrásvizek oldott gáztartalmát mintázták passzív, diffúziós technikával,  $^3\text{H}/^3\text{He}$ -kormeghatározást végeztek vizeken.

Gázföldtani és gázáramlástanai modellszámításokat végeztek a mofettagázoknak a felszínközeli talajrétegekben való transzportjának leírására, és összevetették a mátradereskei száraz szén-dioxid fürdőnél létesített kutatófúrásnál végzett gázhozam-méréseik eredményeivel. Kimutatták a felszíni hőmérséklet és a légnyomás változásainak a gázhozamra való hatását.

A fukusimai reaktorbaleset követően Magyarország légterében mérték a  $^{131}\text{I}$ ,  $^{134}\text{Cs}$  és  $^{137}\text{Cs}$  aktivitáskoncentrációját, dózisjárulék-számításokat végeztek. Fejlesztették a  $^{79}\text{Se}$  (nehezen mérhető izotóp) aktivitáskoncentrációja meghatározásának módszerét kis- és közepesen aktív folyékonyhulladék-mintákban az Atomki ciklotronlaboratóriumában termelt  $^{75}\text{Se}$  nyomjelző segítségével. A kimutathatósági határt a korábbi kb.  $10000 \text{ Bq/l-ről}$   $100 \text{ Bq/l}$  alá szorították

le. Kiértékelték a Bábaapáti NRHT környezetmonitoring részeként végzett terepi (InSitu) gamma-spektrometriás felméréseket. Új folyadékszcintillációs mérés technikát dolgoztak ki lúgban oldott karbonátok  $^{14}\text{C}$  mérésére, mely atomerőművek és nukleáris hulladékkezelő létesítmények légnemű  $^{14}\text{C}$ -kibocsátásának mérését nagyban egyszerűsítheti. A Paksi Atomerőműhöz közeli fák évgűrűiben megvizsgálták a  $^{14}\text{C}$ -kibocsátást a 2000-2009 intervallumban.

A 1993-2011 közötti időszakra megállapították a kelet-magyarországi régióra jellemző légköri aeroszol összetételének és forrásainak hosszú távú tendenciáit és szezonális változásait. Órás feloldású mintavételi technika, nukleáris analitika, valamint egyedi szemcseanalízis és statisztikai módszerek alkalmazásával meghatározták az epizódyszerűen megjelenő koncentrációnövekedések eredetét. Egy téli és egy nyári kampányt folytattak a szállópor-szennyezettség felmérésére debreceni oktatási intézményekben. Elemezték a tantermekben a légköri aeroszol koncentrációját, összetételét és méreteloszlását. A forgalmas utak mellett fekvő iskolákban és óvodákban minden esetben magasabbnak találták a szállópor koncentrációját a WHO által javasolt egészségügyi határértékeknél. Meghatározták az Atomki különböző munkahelyein a légköri aeroszol koncentrációját, összetételét, forrásait, szezonális változásait, valamint megfigyelték az ablakcsere hatását.

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

Az Atomki hagyományos ismeretterjesztő programjának a márciusi Fizikusnapoknak 2011-ben a fő gondolata az atommag felfedezésének 100. évfordulója volt. A diákok és más érdeklődők előadásokban ismerkedhettek meg Rutherford felfedezésével és annak a fizikában betöltött szerepével. A legendás kísérletet a részecskéket megszemélyesítő diákok az udvaron is eljátszották. A rendezvénynek olyan programja is volt, amikor egy adott időpontra gyülekeztek az érdeklődők, és szervezett vezetés mellett megtekinthették az intézet néhány érdekes laboratóriumát. A program részét képező rendhagyó fizikaórákon való részvételt is tekintetbe véve a Fizikusnapokat 2011-ben is nagy érdeklődés kísérte, a résztvevők száma kb. 1900 fő volt.

A szervezett események mellett kényszerű ismeretterjesztésre is sort kellett keríteni; a fukusimai tragikus balesetet kísérő érdeklődésre tájékoztatással tudtak szolgálni az intézet képviselői, kutatói mind a médiának, mind a lakosságnak.

A Fizikusnapok mellett évközben is lehetőség nyílt az Atomkiba tett látogatásokra. Ez többnyire azt jelentette, hogy előzetes bejelentés alapján egy diákcsoport megtekinthette az intézet valamelyik laboratóriumát, és meghallgatták egy felkért kutató ismertetését.

Ismeretterjesztő előadásokkal szerepeltek az Atomki kutatói az MTA májusi közgyűléséhez kapcsolódó rendezvényen. Témaként szerepelt Rutherford aktualitása, a korszerű magfizikai detektorrendszerek, a magfizika európai perspektívái, de a jubiláló magfizikai témák mellett ezúttal is szerephez jutottak a mindig érdeklődéssel kísért környezetfizika témái; radiokarbonos kormeghatározás, ionmikroszkópia.

Júniusban a fizikai kutatás frontvonalával ismerkedhettek meg a debreceniek egy CERN-ről szóló kiállításon. A lebonyolításban alapvető szerepet töltöttek be az Atomki kutatói. A nyitva tartás hét napján állandó ügyelettel, valamint csoportoknak tartott tárlatvezetéssel segítették elő, hogy az összesen több mint 500 főnyi látogatónak élményszerű legyen a kiállítás.

Az MNT ifjúsági szakcsoportja, a Fiatalok a Nukleáris Energetikáért csoport működése keretében atomkis fiatalok is részt vettek a debreceni nyári CAMPUS fesztiválon a nukleáris energetikával kapcsolatos ismeretterjesztésben.

2011 nyarán a Debreceni Egyetem és az Atommagkutató Intézet közös rendezésében valósult meg az Élő Fizika Nyári Tábor. A kutatók érdeklődő középiskolás diákokat fogadtak, a fiatalok az egyhetes program alatt részt vettek egy rövid kutatási, mérési feladat kidolgozásában.

Szeptemberben a Kutatók Éjszakája jelentett lehetőséget a tudománnyal való találkozásra. A BME-vel közösen szervezett eseményen a szupravezetés jelenségkörével és alkalmazásának lehetőségeivel ismerkedtek meg az Atomkiba látogatók. Az előadásra zsúfolásig megtöltötték a termet, majd látványos kísérleteket figyelhettek meg.

Novemberben a Magyar Tudomány Ünnepe keretében az ismeretterjesztés a megújuló energiák hasznosítása, a környezetfizika, az innovatív gyógyszerfejlesztések és a másodfajú szupravezetők témakörében zajlott. Az Élő Fizika programban decemberben egy magfizikai témájú előadással is részt vett az intézet.

A népszerűsítő tevékenységnek része az ismeretterjesztő cikkek írása is. 2011-ben a Természet Világa és a Fizikai Szemle hasábjain nyolc cikk jelent meg atomkis kutatók tollából, a Debreceni Városközpont és a helyi hírlapok is szolgáltak információval az Atomkiról. Szerepeltek a kutatók az OTKA és az MTA honlapján, a Léghőképző c. magazinműsorban, a Duna Televízióban.

### **III. A kutatóhely hazai és nemzetközi kapcsolatai 2011-ben**

A hazai intézményekkel folyó együttműködések a korábban kötött megállapodásoknak és a kialakult gyakorlatnak megfelelően folytak 2011-ben is. Első helyen lehetne említeni a Debreceni Egyetem sok tanszékét és az RMKI-t, és a további partnerek felsorolása hosszú listát képezne. Fontos eleme volt az intézet működésének a Paksi Atomerőmű (Paks), a Radioaktív Hulladékokat Kezelő Közhasznú Nonprofit Kft. Radioaktív Hulladékkezelő és Feldolgozó Telephelye (Püspökszilágy) és a Nemzeti Radioaktív hulladék-tároló Telephelye (Bátaapáti) környezeti monitoring rendszerének üzemeltetésében, kibocsátás-ellenőrzésében, technológiai rendszerei üzemi paramétereinek diagnosztizálásában, valamint a hulladékminősítési eljárásokban való részvétel.

Az intézet 2011-ben megtartotta korábban is betöltött szerepét a felsőoktatásban, a Debreceni Egyetemmel fenntartott hagyományos kapcsolatait. Az Atomki kutatói a beszámolási időszakban meghirdetett 42 kurzus keretében 745 tantervi óra megtartásával járultak hozzá a Debreceni Egyetemen (DE) folyó oktatáshoz. A gyakorlati órák száma a DE-n 2011-ben 226 volt 37 kurzus keretében. Az oktatásban összesen 42 kutató vett részt. A pregraduális képzésben elsősorban fizikus, fizika tanári, informatikus, programtervező matematikus, környezettan, környezettudományi, valamint környezetgazdálkodási agrármérnök szakos hallgatókat oktattak (előadások, speciális laboratóriumi gyakorlatok, diplomamunkák). Az oktatásban fontos terület a doktori képzés. A Fizikai Doktori Iskola 20 törzstagja közül 7 az Atomki kutatója. A beszámolási időszak folyamán 20 PhD-, 7 diplomamunkás, 7 szakdolgozó és 14 TDK-hallgató dolgozott az intézetben, a témavezetésre fordított órák száma összesen 2620 volt. Az intézetben folytatódott a kutató hallgatói ösztöndíjas program, amelynek keretében egyetemisták rész vállalnak a kutatómunkában. A tavasz félévben 7 ösztöndíjas volt, az őszi 8.

A *nemzetközi kapcsolatok* természetesen ezúttal is fontosak voltak a kutatásban. A korábbi együttműködések folytatásaként mintegy 60 téma sorolható fel, de új elemekkel is gazdagodott a közös munka.

Az Atomki kutatói hosszú ideje eredményesen működnek együtt különböző francia intézetek kutatóival, akikkel közösen végeznek kísérleteket Caenben a Francia Nemzeti Nehéz Ion

Gyorsítónál (GANIL). Ebből az együttműködésből számos kiemelkedő eredmény született, köztük a 2011-es év egyik legjelentősebb eredménye, ami a Natur-ben került publikálásra. A GANIL új gyorsítóközpontjának az építését előkészítő konzorciumnak és FP7-es projektnek az Atomki részese volt. A projekt új fázisába lépett, mivel 2011 novemberében megtörtént az új gyorsító alapkölvetétele. Az Európai Bizottság lehetővé tette, hogy az európai stratégiai infrastruktúrát képviselő gyorsítókomplexum megépítéséhez a strukturális alapok felhasználásával csatlakozhassunk. Az Atomki nemzetközi tanácsadó testülete messzemenően támogatja a csatlakozási szándékot, ami új lendületet adhat a magfizikai alapkutatásoknak.

A nukleáris asztrofizika területén négy kutató több, néhány hetes mérésen vett rész a Laboratori Nazionali de Gran Sasso és az INFN LNS Nuclear Physics Laboratory Catania intézményben Olaszországban. Ez a program a törökországi Kocaeli University munkatársaival való együttműködést is jelent.

A komplex skálázás és a Gamow-héjmodell kapcsolatának a kérdését vizsgálta egy atomkis kutató a Tennessee Egyetemen eltöltött három hónapos tanulmányúton.

Korábbi müncheni együttműködőkkel együtt új kutatási programot indítottak a Duke Egyetem nagyintenzitású gamma-forrása mellett tervezett mérésekhez, ahol a hasadás előtti erősen deformált állapotokra épülő dipólus óriásrezonancia felhasadását fogják vizsgálni.

2011-ben zajlott az Isotoptech – MTA ATOMKI – ETH háromoldalú svájci-magyar kutatás/fejlesztési megállapodás (összérték: 1,0 MEUR) „Development of an EnvironMICADAS  $^{14}\text{C}$  AMS system for Hungary” programjának megvalósítása. Egy atomkis kutató 2011-ben előbb magyar OTKA, majd svájci Sciex mobilitás ösztöndíjjal 9 hónapot töltött a svájci ETH Zürich intézet kutatólaboratóriumában, ahol részt vett a műszer és a módszerek fejlesztésében.

Az Atomki két kutatója 3 hetet töltött Japánban, a Toyo Egyetemen belül működő Bio-Nano Electronics Research Centerben a japán fél meghívására ECR ionforrások orvosi alkalmazásait vizsgálva.

Egy éves munkavállalás keretében ion-ion és foton-ion ütközéseket tanulmányozott egy atomkis kutató a Justus-Liebig Egyetemen Giessenben.

Egy kutató az EFDA GOT program keretében több hónapot töltött Karlsruhéban, ahol trícium kalorimetriával foglalkozott. A téma művelését tovább is folytatja.

Külföldi kutatók is érkeztek hosszabb időszakra Debrecenben. Nukleáris asztrofizikai kutatómunkájának egy évét töltötte le egy bukaresti kutató két éves OTKA pályázata keretében. PhD munkáján Erasmus-ösztöndíjjal két külföldi kutató dolgozik az intézetben, egyikük Törökországból érkezett, a másik Portugáliából.

A külföldi kutatók debreceni tevékenységében megkülönböztetett szerepe van a CHARISMA programnak. A kulturális örökség megőrzését Európa-szerte fontos feladatnak tartják, a program által biztosított lehetőségek és az Atomkiban erre kialakított gyorsítós infrastruktúra harmóniában van a feladat fontosságával. Belgiumból, Bulgáriából, Görögországból, Németországból és Romániából 2011-ben összesen 10 külföldi kutatót fogadtak, a vizsgálatok a teljes évi gyorsítóidő 17 %-át tették ki.

A nemzetközi kutatómunka terén új egyezmények is születtek 2011-ben. Csatlakozott az Atomki az EXOGAM2 nevű nemzetközi programhoz, amely a franciaországi Caenben folyó magfizikai kutatás fejlesztését segíti elő. Együttműködési szerződést kötött az intézet a németországi Physikalisch-Technische Bundesanstalt Braunschweig und Berlin intézménnyel atomfizikai kutatások végzésére. Kutatás és oktatás területén történő együttműködésre kötött szerződést az intézet a Nagyvárad Egyetemen. Együttműködési megállapodást írt alá az Atomki a Huazhong Egyetemen (Kína) a számítógépes támogatással végzendő májsebészeti kutatások megkezdésére. Csatlakozott az intézet a Debreceni Egyetem, a DEOEC, a Debre-

cen Város Önkormányzata és a Proton Therapy Provider nevű prágai cég együttműködéséhez, amelynek célja a Protonterápiás Centrum projekt megvalósítása Debrecenben.

Magyarország EU-elnökségéhez kapcsolódóan a Week of Innovative Regions in Europe 2011 (WIRE2011) konferencia Debrecenben tartotta ülését 2011. június 7-9-én az Atomki aktív közreműködésével. A konferencia résztvevői az Atomkiba is látogatást tettek. Az European Strategy Forum on Research Infrastructures (ESFRI) 37. találkozóját az Atomkiban rendezték 2011. június 6-án. A FLAME közép-európai innovációs projekt téningje pedig 2011. július 11-14 között zajlott le az intézetben. A Workshop on Dynamics and Control of Atomic and Molecular Processes Induced by Intense Ultrashort Pulses nevű tudományos műhelyre szintén Debrecenben került sor 2011. szeptember 28-30-án. Az Atomki Külső Tanácsadó Testülete 2011. október 5-6-án tartotta ülését az intézetben. A nemzetközi összejevetelek méltó környezetben, a 2011-ben felújított előadóteremben és a tanácsteremben zajlottak le.

#### **IV. A 2011-ben elnyert fontosabb hazai és nemzetközi pályázatok rövid bemutatása**

Hazai vonatkozásban az Atomki a legnagyobb volumenű támogatásokat az NFÜ, a Radioaktív Hulladékokat Kezelő Kft., az NKTH, az NKFP, a Paksi Atomerőmű Zrt., az NKTH – OTKA és az OTKA nevű szervezetektől kapta, nemzetközi téren pedig az Európai Uniótól.

Az intézetnek 91 pályázata volt 2011-ben, ezek közül 37-nél a teljes összeg 10 millió Ft fölött volt, 22-nél pedig 20 millió Ft fölött. Az alábbiakban felsoroljuk ezt a 22 pályázatot, és megadjuk, hogy a pályázatból mekkora összeg az Atomkié, valamint hogy 2011-re ebből mennyi jutott.

NFÜ: Komplex épületenergetikai fejlesztés, 342208 eFt – 223208 eFt

NFÜ: PRIZMATECH Klaszter, 36143 eFt – 6971 eFt

Radioaktív Hull. K. Kft.: Püspöksz. RHT terül. vett minták vizsgál., 108788 eFt – 27073 eFt

NKTH: Előrehaladott képalkotási rendszer, 106550 eFt – 68454 eFt

NKTH: Az összetevők kémiai állapotának meggh., 71250 eFt – 71250 eFt

NKTH: Debreceni LHC Grid központ, 64084 eFt – 64084 eFt

NKTH: Újgenerációs, környezetbarát vékonyréteg-napelemek, 40000 eFt

NKFP: Multi-modalitású képalkotó-rendszer, 82112 eFt – 20740 eFt

Paksi Atomerőmű Zrt.: Nehezen mérhető izotópok meghatározása, 47620 eFt – 11270 eFt

NKTH – OTKA: Új fizika keresése a CERN-ben, 29359 eFt – 11784 eFt

NKTH – OTKA: A Napban lejátszódó 3He + 4He reakciók vizsgál., 24000 eFt – 12000 eFt

OTKA: A nehéz elemek nukleoszintézise, 21998 eFt – 8117eFt

OTKA: Alapvető kölcsönhatások és egzotikus magállapotok, 23157 eFt – 3231 eFt

EU: Asztrofizikai p-folyamat, 750000 EUR – 214731 EUR

EU: EURATOM Fúziós Tréning, 149227 EUR – 14623 EUR

EU: CHARISMA-program, 197000 EUR – 35040 EUR

EU: A jövő laboratóriuma az anyagtudományban, 105723 EUR – 11556 EUR

EU: Kollektív gerjesztések atomi ionizációban, 100000 EUR – 35900 EUR

EU: Felületi kopásvizsgálat, 83350 EUR

EU: E+E- detektor fejlesztése, 79500 EUR – 38425 EUR

EU: Trícium oktatási program, 65000 EUR – 24000EUR

EU: Mesterséges gyémánt alapú detektorok fejlesztése, 34242 EUR – 24202EUR

## V. A 2011-ben megjelent jelentősebb tudományos publikációk

Bene E, Vértesi T, Englman R

Reciprocity in the degeneracies in some tetra-atomic molecular ions.

**JOURNAL OF CHEMICAL PHYSICS 135**:(8) Paper 084101. (2011)

IF: 2.920\*

Bosi M, Attolini G, Ferrari C, Frigeri C, Calicchio M, Rossi F, et al. (9), Vad K, Csik A

Effect of temperature on the mutual diffusion of Ge/GaAs and GaAs/Ge.

**JOURNAL OF CRYSTAL GROWTH 318**:(1) pp. 367-371. (2011)

IF: 1.737\*

Caciolli A, Mazzocchi Ch, Capogrosso V, Bemmerer D, Broggini C, Corvisiero P, et al. (30), Elekes Z, Fülöp Zs, Gyürky Gy, Somorjai E

Revision of the  $^{15}\text{N}(p, \gamma)^{16}\text{O}$  reaction rate and oxygen abundance in H-burning zones.

**ASTRONOMY & ASTROPHYSICS 533**: p. A66. (2011)

IF: 4.410\*

Cederwall B, Moradi FG, Back T, Johnson A, Blomqvist J, Clement E, et al. (57),

Nyako BM, Algora A, Dombradi Z, Gal J, Kalinka G, Molnar J, Sohler D, Timar J.

Evidence for a spin-aligned neutron-proton paired phase from the level structure of Pd-92.

**NATURE 469**:(7328) pp. 68-71. (2011)

IF: 36.101\*

Dassanayake B S, Bereczky R J, Das S, Ayyad A, Tökési K, Tanis J A

Time evolution of electron transmission through a single glass macrocapillary: Charge build-up, sudden discharge, and recovery.

**PHYSICAL REVIEW A 83**:(1) pp. 2707--7. (2011)

IF: 2.861\*

Hori M, Sótér A, Barna D, Dax A, Hayano R, Friedreich S, et al (12), Horváth D.

Two-photon laser spectroscopy of antiprotonic helium and the antiproton-to-electron mass ratio.

**NATURE 475**:(7357) pp. 484-488. (2011)

IF: 36.101\*

Huszank R, Szikra D, Simon A, Szilasi SZ, Nagy IP

He-4(+) Ion Beam Irradiation Induced Modification of Poly(dimethylsiloxane). Characterization by Infrared Spectroscopy and Ion Beam Analytical Techniques.

**LANGMUIR 27**:(7) pp. 3842-3848. (2011)

IF: 4.268\*

Kardos A, Papadopoulos CG, Trocsanyi Z

Top quark pair production in association with a jet at NLO accuracy with parton showering.

**PHYSICS LETTERS B 705**:(1-2) pp. 76-81. (2011)

IF: 5.255\*

Kern Z, Fórizs I, Pavuza R, Molnár M, Nagy B

Isotope hydrological studies of the perennial ice deposit of Saarlhale, Mammuthöhle, Dachstein Mts, Austria.

**THE CRYOSPHERE 5**: pp. 291-298. (2011)

IF: 3.641\*

Kiss G G, Szücs T, Rauscher T, Kertész Zs, Fülöp Zs, Gyürky Gy, et al (10), Farkas J, Elekes Z, Somorjai E

Determining reaction cross sections via characteristic X-ray detection:  $\alpha$ -induced reactions on  $^{169}\text{Tm}$  for the astrophysical  $\gamma$ -process.

**PHYSICS LETTERS B 695**:(5) pp. 419-423. (2011)

IF: 5.255\*

Krasznahorkay A

Tunneling through triple-humped fission barriers.  
In: Vértés A, Nagy S, Klencsár Z, Lovas R, Rösch F (szerk.)  
Handbook of Nuclear Chemistry: 2nd edition.  
Heidelberg; New York: Springer-Verlag, 2011. pp. 281-318.  
3. (ISBN:ISBN 978-1-4419-0719-6)

Navascués M, Vértési T

Activation of Nonlocal Quantum Resources.  
**PHYSICAL REVIEW LETTERS** **106**: p. 060403. (2011)  
IF: 7.621\*

Nándori I

Bosonization and functional renormalization group approach in the framework of QED2.  
**PHYSICAL REVIEW D PARTICLES AND FIELDS** **84**:(6) 9 p. Paper 065024. (2011)  
IF: 4,964\*

Rácz A, Salamon P, Vertse T

Trajectories of S-matrix pole in a new finite-range potential.  
**PHYSICAL REVIEW C NUCLEAR PHYSICS** **84**:(3) Paper 037602. (2011)  
IF: 3.416\*

Racz R, Biri S, Palinkas J

ECR plasma photographs as a plasma diagnostic.  
**PLASMA SOURCES SCIENCE & TECHNOLOGY** **20**:(2) Paper 025002. (2011)  
IF: 2.218\*

Sohler D, Grevy S, Dombradi Z, Sorlin O, Gaudefroy L, Bastin B, et al. (40), Elekes Z, Kuti I

Spectroscopy of  $^{39,41}\text{Si}$  and the border of the  $N=28$  island of inversion.  
**PHYSICS LETTERS B** **703**:(4) pp. 417-421. (2011)  
IF: 5.255\*

Stolterfoht N, Hellhammer R, Sulik B, Juhász Z, Bayer V, Trautmann C, et al. (8)

Evidence of blocking effects on 3-keV  $\text{Ne}^{7+}$  ions guided through nanocapillaries in polycarbonate.  
**PHYSICAL REVIEW A** **83**:(1) 10 p. Paper 012901. (2011)  
IF: 2.861\*

Szilasi SZ, Budai J, Pápa Z, Huszánk R, Tóth Z, Rajta I

Refractive index depth profile and its relaxation in polydimethylsiloxane (PDMS) due to proton irradiation.  
**MATERIALS CHEMISTRY AND PHYSICS** **131**: pp. 370-374. (2011)  
IF: 2.353\*

Tárkányi F, Ditrói E, Hermanne A, Takács S, Király B, Yamazaki H, et al. (9)

Activation cross-sections of deuteron induced nuclear reactions on gold up to 40 MeV.  
**NUCLEAR INSTRUMENTS & METHODS IN PHYSICS RESEARCH SECTION B-BEAM INTERACTIONS WITH MATERIALS AND ATOMS** **269**:(12) pp. 1389-1400. (2011)  
IF: 1.042\*

Valastyán I, Kerek A, Imrek J, Hegyesi Gy, Kalinka G, Molnár J, et al. (7)

LSO based dual slice helical CT and PET demonstrators.  
**NUCLEAR INSTRUMENTS & METHODS IN PHYSICS RESEARCH SECTION A-ACCELERATORS SPECTROMETERS DETECTORS AND ASSOCIATED EQUIPMENT** **633**:(SUPPL1) pp. 300-302. (2011)  
IF: 1.142\*

Vodila G, Palcsu L, Futo I, Szanto Z

A 9-year record of stable isotope ratios of precipitation in Eastern Hungary: Implications on isotope hydrology and regional palaeoclimatology.  
**JOURNAL OF HYDROLOGY** **400**:(1-2) pp. 144-153. (2011)  
IF: 2.514\*