

## 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 2015-ben

Az intézet fő feladata az atomfizikai, magfizikai, nukleáris asztrofizikai és részecskefizikai alap kutatások területén a nemzetközi kollaborációkkal összehangolt élvonalbeli kutatások végzése volt a nagy nemzetközi kutatóközpontok és a saját kutatási infrastruktúra kiegyensúlyozott használatával. A tárgyévben a fejlesztési feladat a tandemtron beruházás első fázisának a lezárása, a környezetfizikai laboratórium mintaelőkészítő rendszerének és az anyagtudományi laboratóriumnak a fejlesztése volt. Az alkalmazott kutatásokban 2015-ben különösen nagy hangsúlyt kapott az izotópanalítika és az ionnyaláb-fizika megerősítése. 2015-ben is feladat volt az egyetemi oktatásban, a PhD képzésben, a nemzetközi szakemberképzésben és a tudomány népszerűsítésében való részvétel.

### II. A 2015-ben elért kiemelkedő kutatási és más jellegű eredmények

#### II. a) Kiemelkedő kutatási eredmények

##### *Kvantumfizika*

Sokrészű kvantumrendszereken történő Bell-tesztek során jelentkező detektorkiskapuk zárására fejlesztettek ki Bell-egyenlőtlenség családokat. Megmutatták, hogy a két felhasználós esethez képest lényeges javulás érhető el, ha az N-kubites kvantumállapot W-típusú illetve az alkalmazott kvantumállapot a W-állapot és a szorzatállapot koherens szuperpozíciója. A kapott eredmények várhatóan kommunikációs komplexitási problémákban, illetve jobb zajtűrésű, és viszonylag nagy detektorhatékonyságot igénylő kvantum-protokollokban is hasznosak lehetnek.

Az EPR steering jelensége a nemlokalitás egy formája. Azt vizsgálták meg, hogy az EPR steering jelensége általánosítható-e a kvantumkorrelációknál erősebb korrelációk tartományára. Míg a két résztvevős esetben ez bizonyíthatóan nem elképzelhető, addig a három résztvevős esetben sikerült bizonyítaniuk a kvantum EPR steering jelenségén túlmutató korrelációk létezését..

Carl Bender, a téma kezdeményezője és vezető kutatója felkérésére elkészítettek egy fejezetet a pszeudo-hermitikus kvantummechanika területének első összefoglaló monográfiájába. A közel ötven oldalas fejezet kiterjeszti az egzaktul megoldható potenciálok általános elméletét és osztályozását a PT-szimmetrikus komplex kvantummechanikai problémákra, valamint tárgyalja e potenciálok azon speciális tulajdonságait, amelyek a nem-hermiticitás miatt lépnek fel. E vonatkozásokat számos példával illusztrálták a téma 15 éves irodalmából.

Az általánosított Woods-Saxon és az általánosított levágott Woods-Saxon potenciál  $l=0$  S-mátrix pólusait határozták meg. Az első esetben a hullámfüggvény a magsugárról verődik vissza, a rezonancia pólusok a magsugártól függenek. A második esetben a hullámfüggvény visszaverődhet egy nagyobb távolságról, ahol a potenciált levágták. A legtöbb rezonanciapólus erősen függ a levágási sugártól. Potenciálgát esetén néhány keskeny rezonancia nem érzékeny a levágási sugárra.

Négy nukleon erősen kötött együttesét kvartettnek nevezik. A héjszerű kvartettmodellek, tudnak a kvartettek mikroszkopikus szerkezetéről. A kölcsönhatóbozon-típusú modellek

teljes egészében az elegáns és hatékony csoportelméleti tárgyalást alkalmazzák. Vizsgáltak két teljesen algebrai modellt a héjszerű kvartettképződés leírására. Az egyik fenomenologikus, melyben a nukleonikus szabadsági fokok nem lépnek fel, a másik félmikroszkopikus. (Ez utóbbinak a modelltere a törzsnélküli héjmodell-terének egy szimmetriavezérelt csonkítása.) Mindkét esetben az  $U(3)$ -as térbeli szimmetria állítja elő a gerjesztési spektrumot. A nyilvánvaló szimmetriatulajdonsága miatt e modellnek az alapvető magszerkezet-modellekhez fűződő kapcsolata ismeretes és egyszerű.

### *Részecskefizika és detektorfejlesztés*

Kifejlesztettek egy effektív modellt, amely sikeresen leírja az erősen kölcsönható anyagban a magas hőmérsékletű, kvark-gluon plazma fázisban kialakuló lokalizált kvarkállapotokat. A modell érdekessége, hogy nem csak a kvark-gluon plazma, hanem az alacsony hőmérsékletű hadronikus fázis, valamint a kettő közötti átmenet leírására is alkalmas. Megmutatták továbbá, hogy az átmenet közelében a kvarkállapotok térszerkezete az Anderson átmenetnél megjelenő kritikus elektronállapotokéhoz hasonló multifraktál struktúrát mutat. Ez a kutatást az MTA Lendület programja által támogatott *MTA Atomki Lendület Rács Kvantum-színdinamika Kutatócsoportjának* keretében valósult meg.

Fázisátalakulások tanulmányozásának két rendkívül sikeres módszere a funkcionális renormálási csoport (fRG), illetve a konform térelmélet (CFT) használata. Az fRG és CFT módszerek között a Zamolodchikov C-tétel, illetve  $c$ -függvény teremt kapcsolatot. A sine-Gordon kvantumtérelméleti modell vizsgálatával sikerült a szakirodalomban első alkalommal meghatározni a  $c$ -függvény értékét az fRG módszer keretében nem-triviális esetben. Továbbá vizsgálták a spontán szimmetriasértés megjelenésének, az fRG módszerben szokásos levágásoktól való függését.

Véglegesítették a GEM detektor pozíciómonitorának koncepcióját [GEM\_TDR] és a kamrák kiolvasó paneljeit bemérő és minősítő asztal tervezését. A koncepció és az eddigi K+F tevékenység műszaki beszámolója sikeresen lezajlott a kijelölt CMS bizottság előtt. A CMS-műon detektor barrel részének pozíciómonitor rendszerével tavaly hozzávetőlegesen 1300 teljes mérést végeztek. Az adatok a fizikai analízisek pontosságát növelik. Folyamatosan üzemeltették a kb. 300 érzékelőből száloptikai szenzor rendszert. Részt vettek a CMS pixel detektorának kalibrációjában és szinkronizálták az időzítését.

Az USA-ban létesített LIGO jelenleg a Föld legérzékenyebb gravitációs hullám detektora. Nemrégiben ebben az obszervatóriumban detektáltak először olyan eseményt, amit az elméleti modellek szerint két fekete lyuk összeolvadása okozhatott. Az Atomki csoportja Eötvös Gravity Research Group tagjaként részt vett a LIGO Physical Environment Monitoring system infrahang-mikrofonjainak üzemeltetésében, fejlesztésében, és az általuk szolgáltatott jelek kiértékelésében.

### *Magfizikai alap kutatás*

Az alacsony energiás magfizikai kutatások egyik csomópontja a stabilitási völgytől igen távol fekvő, kétszer mágiusnak várt  $^{78}\text{Ni}$  körüli atommag tartomány tulajdonságainak a feltárása, a jelentős neutrontöbblet hatásainak a vizsgálata. Az Atomki kutatói nemzetközi együttműködésekben a japán RIKEN Nishina központjában radioaktív bomlásból és magreakcióban, a francia nemzeti nehézion központban a GANIL-ban pedig transzfer reakció segítségével vizsgálták a nehéz vas, kobalt és réz atommagok szerkezetét, amiből a

neutrontöbblet hatására bekövetkező egyrészeszske-állapot átrendeződésre következtettek.

A teljes abszorpciós spektroszkópia (TAS) segítségével tanulmányozták az ólom 190-es, és 192-es izotópjának  $\beta$ -bomlását a CERN ISOLDE berendezésénél. A kísérleti adatok és a QRP számolások összevetése arra enged következtetni, hogy a  $^{190,192}\text{Pb}$  izotópok az alapállapotukban gömb alakúak. Első alkalommal használták a teljes abszorpciós módszert nehéz atommagok alakjának a meghatározására, valamint arra a tartományra, ahol a magalak és annak hatásai számottevő jelentőségűek.

A  $^{42}\text{Ca}$   $T_z=+1$  állapotából a  $^{42}\text{Sc}$   $T_z=0$  állapotába történő Gamow-Teller (GT) bomlást tanulmányozták ( $^3\text{He,t}$ ) töltéscsere reakcióban, 140 MeV/nukleon bombázó energiánál, 0 fokos szórási szögben. A megfigyelt GT átmeneti erősség jelentős része a legalacsonyabb, 0.611 MeV-es  $J^\pi = 1^+$  GT állapotban koncentrálódik. Az RPA számítások során használt kölcsönhatást kiegészítve egy vonzó izoskalár kölcsönhatással, a 0.611 MeV-es állapot egy kisenergiás „szuper Gamow-Teller állapotként” volt értelmezhető. Izobár-analóg szerkezetet feltételezve az  $A=42$  izobárokban, a  $^{42}\text{Ca}$ -ban is várhatók  $T=1, 1^+$  analóg állapotok. A  $^{42}\text{Ca}(p,p)$  reakciókban 0 fokos szögben mért spektrum alapján a fenti erősség a  $^{42}\text{Ca}$  atommagban a 10-12 MeV-es energiatarományban oszlik szét.

Publikálták azokat a távlati terveiket, amelyek a Bukarestben épülő új Extreme Light Infrasturture-Nuclear Physics (ELI-NP) berendezésnél megvalósítandó,  $\gamma$ -sugárzásokkal indukált magreakciók vizsgálatára vonatkoznak. Az így nyerhető korszerű, nagy pontosságú adatok elengedhetetlenül fontosak a magfizika különböző alkalmazási területeihez is. Bemutatták a tervezett ELI-NP berendezés  $\gamma$ -nyalábjainak paramétereit és az azokkal tervezett kísérleti programokat. Tárgyalták a nukleáris fluoreszcencia módszerrel tervezett kísérleteket, a fotonukleáris reakciókat, a fotohasadást, a mag kollektív állapotainak gerjesztési módjait, valamint a különböző bomlási csatornákat.

Az Institut Laue-Langevin-be (ILL, Grenoble) telepített EXILL Ge-detektorrendszert használva tanulmányozták az  $^{235}\text{U}$  hideg neutronok által indukált hasadásában keletkező neutrongazdag Br és La atommagok szerkezetét. Elsőként azonosítottak közepes spinű gerjesztett állapotokat a  $^{88}\text{Br}$  atommagban, melynek alapállapotú spin-paritására a korábban elfogadott ( $2^-$ ) helyett az  $1^-$  értéket javasolták. A kisenergiás, újonnan azonosított nívókat a  $\pi p_{3/2} \nu(d_{5/2})^3$  és  $\pi f_{15/2} \nu(d_{5/2})^3$  multiplettek tagjaiként értelmezték. Nagyobb energián kimutatták a  $g_{9/2}$  protonnak a  $\nu(d_{5/2})^3$ , 3-as szenioritású multipletthez való csatolódását.

A  $^{22}\text{Ne}(p,\alpha)^{23}\text{Na}$  magreakció a hidrogénégés neon-nátrium ciklusának kísérletileg legkevésbé ismert komponense a Gamow ablakban mindeddig meg nem figyelt rezonanciák miatt. A LUNA együttműködés keretében elsőként mutatták ki közvetlenül három rezonancia jelenlétét 156,2 keV, 189,5 keV és 259,7 keV energiánál, továbbá meghatározták az erősségüket is 2-7%-os bizonytalansággal. Ezen túl jelentősen lecsökkentették három további rezonancia erősségének felső határát. A származtatott új reakciósebességek hússzor nagyobbak a jelenleg ajánlott értéknél 0,1GK hőmérséklet esetén, ami az AGB csillagok nukleoszintézisének leírását jelentősen módosítja.

A nehéz, protongazdag magok az asztrofizikai  $\gamma$ -folyamat révén jönnek létre. Ezen  $p$ -magok keletkezését reakcióhálózat-számításokkal modellezik. A szükséges hatáskeresztmetszet adatokat a Hauser-Feshbach modell szolgáltatja, mely globális optikai potenciált igényel. A  $^{107}\text{Ag}(\alpha,\gamma/n)$  és  $^{164,166}\text{Er}(\alpha,n)$  reakciók hatáskeresztmetszetének mérésével ellenőrizték a

modell jóslatainak megbízhatóságát. Azt találták, hogy a kísérleti adatok elméleti reprodukálásához az  $\alpha$ -mag optikai potenciál képzetes részét egy új taggal szükséges kiegészíteni. E módosítás várhatóan jelentősen befolyásolja a  $\gamma$ -folyamat-számításokból nyert izotópjakoriságokat.

A  $^{18}\text{F}(p,\alpha)^{15}\text{O}$  reakció hatáskeresztmetszetének asztrofizikai energiákon való ismerete kulcsfontosságú a nova típusú csillagban lejátszódó folyamatok megértéséhez. E hatáskeresztmetszet direkt technikákkal a szükségesen alacsony energiákon nem vizsgálható a jelenleg rendelkezésre álló – a stabil nyalábokhoz képest – alacsony radioaktív nyalábbintenzitások mellett. A  $^2\text{H}(^{18}\text{F},\alpha)^{15}\text{O}$ n háromrészeske reakcióban, amely a „Trójai faló” indirekt mérési technika első radioaktív nyalábos alkalmazása volt, sikeresen határozták meg a  $^{18}\text{F}(p,\alpha)^{15}\text{O}$  reakcióban szerepet játszó alacsony energiás rezonanciák paramétereit.

### *Magfizikai alkalmazások*

Különböző 3D struktúrákat állítottak elő folyékony PDMS polimerben a minta többszörös elforgatásával az ionnyalábhoz képest. Ennek eredményeként nagyon sima oldalú, nagy oldalarányú és stabil mikrostruktúrák állíthatók elő. A besugárzott területeken a polimer adhéziója, törésmutatója és rugalmassági modulusa is jelentősen megváltozik az alkalmazott ionfluens függvényében. Az öntvényes módon előállított PDMS oszlopok oldalaránya erősen korlátozott a hagyományos cross-linker segítségével képzett elasztomer kis Young-modulusa miatt. A protonnyalábos írással, megfelelő proton fluenssel létrehozott mikro-oszlopok oldalaránya viszont jelentősen nagyobb lehet.

Elvégezték a már meglévő mikroszondához telepített kihozott nyalábos mérőelrendezés teljes körű beüzemelését. Az Oxford Microbeams rendszerén alapuló kihozott nyalábos mérőelrendezés két röntgendetektort (PIXE mérésekhez), digitális mikroszkópot, a beállításokhoz használt lézereket és precíziós XYZ állványt tartalmaz. A kilépő ablakhoz alkalmazástól függően különböző vastagságú és anyagú fóliákat használtak. Megmutatták, hogy a mintára eső töltés megbízhatóan mérhető a vákuumkamrában elhelyezett nyalábszaggatóval. Az alkalmazhatóságot egy archeometriai példán, Magyarországon talált bronzkori kincsek vizsgálatával demonstrálták.

A miniPET3 alkalmazását kiterjesztették növényben végbemenő biokémiai folyamatok vizualizálására.  $^{11}\text{C}$ -metionint és  $^{64}\text{Cu}$ -réz-kloridot használtak kukoricapalánta aminosav és mikroelem felvételének és transzlokációjának vizsgálatára. Heterogén katalízis folyamaton belül a  $^{11}\text{C}$ -jelzett metanol átalakulását tanulmányozták fénoxid katalizátorokon a Bolgár Szerveskémiai Intézettel együttműködésben. A katalízis folyamatok leképezésére és vizsgálatára az Atomkiben kifejlesztett nagyfeloldású, kis látóterű MiniPET-3 kamerát alkalmazták az Eindhoveni Műszaki Egyetemmel együttműködve.

Kidolgozták az orvosbiológiai kísérletekhez előállított  $^{55}\text{CoCl}_2$  oldat minőségbiztosítását, meghatározták fajlagos aktivitását és más, kompetitív átmeneti fémek, mint a vas, mangán, réz és cink koncentrációját. Az ECHO program keretében, indiai kutatókkal együttműködve eljárást dolgoztak ki a  $^{163}\text{Ho}$  elválasztására a besugárzott erbium céltárgyból, ami alapfeltétele a neutrínó tömegméréshez szükséges  $^{163}\text{Ho}$  sugárforrás készítésének. A dél-afrikai NECSA intézettel együttműködve kísérleti úton bizonyították az Auger-elektronok hatását a kémiai kötés felszakadására a  $^{103}\text{Pd}/^{103\text{m}}\text{Rh}$  *in vivo* generátorban.

A töltött részecske-indukált reakciók hatáskeresztmetszetének és hozamának vizsgálata történt főként ritkaföldfém céltárgy anyagokon, amelyek szükségesek radioizotópok előállításának optimalizálásához. Elsősorban új kísérleti reakció hatáskeresztmetszeteket határoztak meg különböző referencia adatbázisokhoz, elméleti modellek fejlesztéséhez. A vizsgált target anyagok: Ag, Al, Ba, Cd, Ce, Cu, Er, Hg, La, Lu, Mo, Nd, Pd, Pr, Sn, Sr, Ta, Tb, Ti, Tm, Zn, Zr. Ezek alkalmazási területei a diagnosztikai és terápiás izotópok előállítása, a nukleáris gyorsító technológia, vékonyréteg aktiváció, nukleáris analitika és asztrofizika.

Szövetekvivalens és Mg-Ar ionizációs kamrák gamma-foton érzékenységre vonatkoztatott relatív neutronérzékenységét, valamint egy NE-213 szcintillátoros detektorból és digitális jelfeldolgozóból álló neutronspektrométer válaszfüggvényeit mérték  $E_n = 9.5$  és  $E_n = 12.1$  MeV neutronenergiákon kvázi-monoenergiás d+D neutronokkal. Elrendezést fejlesztettek ki az MGC-20E ciklotron p+Be neutronforrásánál hasadási kamrák teszteléséhez. Az ITER fúziós reaktor egy potenciális plazmadiagnosztikai módszerének tesztelése során H-üzemmódú fúziós plazmákból kiszökő neutronok és ionok fluxusát mérték a KSTAR fúziós reaktornál (Dél-Korea). Magfizikai hatáskeresztmetszet adatokkal bővítették a meglévő irodalmat és a NAÜ adatbázisait, főként proton és deuteron indukált magreakciók terén.

### *Atomfizikai alap kutatás*

Egy korábban elvégzett munkában az ionizáció folyamatát tanulmányozták az 1.5 MeV/nukleon  $O^{8+}$ -Li ütközési rendszerben. A független részecske-modell keretében elvégzett perturbációs és csatolt-csatornás eljárásokon alapuló számítások igen jó egyezést mutattak a kísérleti adatokkal. 2015-ben hasonló vizsgálatot végeztek el a 2290 keV/nukleon  $Li^{2+}$ -Li ütközési rendszeren. Az  $O^{8+}$  lövedék esetéhez hasonlóan úgy találták, hogy a külső héjről történő elektronkilökődés egylépcsős folyamatban valósul meg. Azonban az  $O^{8+}$  esettel szemben a belső héjakról történő, többlépcsős elektronemissziót a számítások már nem adták vissza helyesen, ami a valenciahéjakon keresztül megvalósuló elektronátmenetek meghatározó szerepére is utalhat.

Az atomi ütközési folyamatok egyik legeredményesebb elméleti modellje a klasszikus pályák számításán alapuló Monte Carlo (CTMC) módszer. Az előző években az atomi CTMC-t továbbfejlesztették ionok és egyszerűbb molekulák (víz, metán) ütközéseinek leírására. Mostani munkájukban - 1 (MeV-es) protonok uracilon történő szóródásán - demonstrálták, hogy módszerük alkalmas nagy molekulák ionizációs folyamatainak modellezésére is. Módszerük új jellegzetessége, hogy a molekulatörzs kölcsönhatásait árnyékolt atomi potenciálokból felépített többcentrumú potenciállal írják le. Számítási eredményeiket összevetették kísérleti adatokkal, valamint kvantummechanikai elméletek előrejelzéseivel.

Megmutatták, hogy egy gázfázisú céltárgy vízmolekuláiból negatív ionok is kilépnek ha keV-es energiájú pozitív ionokkal bombázzák őket. Ez fontos lehet a bolygók és üstökösök atmoszférájában zajló folyamatok szempontjából, és a radiobiológiában is. A mérések során negatív hidrogénionokat és nehezebb ( $O^-$ ,  $OH^-$ ) anionokat figyeltek meg 6.6 keV-es  $O^+ + H_2O$  ütközésekben. A hidrogénionok hozama relatíve nagy volt. A kísérleti elrendezés lehetővé tette az elektronok és anionok szétválasztását, és ezzel az utóbbiak szög és energia szerint differenciális spektrumának felvételét. A soktest-dinamikával emittált, kis energiájú hidrogén anionok hozama jóval nagyobb volt, mint a kemény kéttest-ütközésekben keltett nagy energiájú anionoké. Modellszámítások azt mutatják, hogy a nagy hozamot a mag-mag ütközések és az elektrongerjesztési folyamatok együttesen eredményezik.

Az ECR laboratóriumban 2014-ben egy EU FP7-es együttműködés keretében egy olasz kutatócsoporttal (INFN, Catania) közösen azt vizsgálták, hogy az ECR ionforrás plazmája milyen tulajdonságú röntgen sugárzásokat bocsájt ki különböző plazma-üzemmódok esetén. Az eredmények 2015-ben történt analizálására alapján pontosabb választ adtak azokra a kérdésekre, hogy hol, hogyan, mikor és miért keletkeznek a plazma nagytöltésű ionjai.

$C^+$  ionok egyfotonos gerjesztését/ionizációját vizsgálták kísérletileg a végállapotú töltés  $C^{q+}$  ( $q=2,3,4$ ) függvényében. Azt tapasztalták, hogy rezonáns K-héjgerjesztés utáni  $C^{+*} 1s^1 2s^2 2p^2$  ( $^2P$ ,  $^2D$ ) közbenső állapot átrendeződése során az egyszeres Auger-elektron emisszió kivül a két, illetve a három elektron kibocsátásával járó bomlási csatorna is megengedett. Ez utóbbi Auger-folyamat teljesen ismeretlen jelenség mind elméleti, mind kísérleti szempontból.

Milliméter vastag üveglemezben lévő néhány mikron vastagságú csövecskéken áthaladó, elektromos feltöltődés által terelt ionok viselkedését vizsgálták az idő függvényében. A feltöltődési szakasz elején kaotikus viselkedést tapasztaltak, az ionok több kis nyalábban jöttek át, amelyek hirtelen jelentek meg majd eltűntek, közben a helyzetük változott. Idővel ezek egybeolvadtak egy viszonylag homogén stabil nyalábbá. Az ionenergia növelésével az átmenet a stabil transzmisszióba egyre hamarabb bekövetkezett. A kaotikus viselkedés oka egyelőre nem tisztázott, de a szomszédos csatornák zavaró hatása, és a kis vezetőképesség miatti túltöltődés szerepe valószínűsíthető.

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

Deaktiváció rezisztens Pd-ZrO<sub>2</sub>/f-MWCNT (Pd-ZrO<sub>2</sub> részecskékkel adalékolt funkcionizált sokfalú szén nanocső), a közvetlen hangyasavas üzemanyagcellákban a hangyasav elektro-oxidációjára alkalmazható katalizátorokat állítottak elő. Azt találták, hogy a legnagyobb stabilitást az a katalizátor mutatja, amely semmilyen kezelésben nem részesül a szintézis után. Ez a katalizátor volt a legnagyobb katalitikus aktivitású a deaktivációs kísérletek során, annak ellenére, hogy a kezdeti aktivitása kisebb, mint a ZrO<sub>2</sub> adalékolás nélküli (Pd/f-MWCNT) katalizátoré. A Pd-ZrO<sub>2</sub>/f-MWCNT katalizátor kisebb kezdeti aktivitása a nem vezető ZrO<sub>2</sub> nanorészecskék jelenlétének tulajdonítható, amelyek bepültek a szén nanocső hordozókba.

A Cu és Ni fémek korábban mért röntgenkeltésű KLL Auger-spektrumainak új analizisét végezték el. A mintában rugalmatlanul szóródott elektronok hatására pontosabb módszert, a diagram vonalak szatellit szerkezetére komplex csúcsalakot alkalmaztak. A felületi, tömbi, intrinsic és extrinsic gerjesztések járulékait a Parciális Intenzitás Analízis módszer és az ugyanazon a mintákon mért visszaszórt elektron energia veszteségi spektrumokból kapott energiavesztéségi eloszlások segítségével dekonvolválták. Az analizisből kapott relatív Auger-átmeneti energiák jól egyeznek a korábbi kísérleti eredményekkel és a többielektronos klaszter molekulapálya számítások eredményeivel. A  $I(^3P_2/^3P_0)$  intenzitásarány jobban egyezik a relativisztikus számítások eredményeivel, mint a korábbi munkák értékei. Négy szatellit azonosították a Ni mindegyik Auger-diagram vonalának kis energiájú oldalán.

Röntgen-fotoelektron spektroszkópiával vizsgálták párologtatással előállított grafénszerű GeS nano-rétegekben az elektronszerkezet és az optikai/elektromos tulajdonságok közötti kapcsolatot. Igazolták, hogy az optimális struktúra kialakításához elengedhetetlen a pontosan szabályozott felületi oxidáció. Hőkezelés után kimutatható volt az oxigén koncentrációjának növekedése, ami lézerrel történő megvilágítás után már nem változott. As<sub>20</sub>Se<sub>80</sub> rendszerben

4-77 Kelvinen történt mérésekkel igazolták, hogy a foto-indukált tömegtranszport alacsony hőmérsékleteken is lejátszódik, meghatározták a folyamatot jellemző aktivációs energiát.

Az Atomki ECR Laboratóriumában szilícium ionnyalábbal orvosi cirkónium kerámiák felületén szilíciumban dús tartományokat hoztak létre a kerámiák felületi adhéziójának növelése céljából. A felületvizsgálatok kimutatták, hogy a kerámiák szigetelő jellege miatt a szilícium megfelelő mennyiségi és mélységi eloszlásához a felületre egy sűrű rozsdamentes rács elhelyezése szükséges a mintafelület megfelelő vezetőképességének az elérése érdekében. Vizsgálták kalcium és kalcium+szilícium ionokkal bombázott Ti felület bioaktivitásának változását is. Kimutatták, hogy a néhány tíz nanométer mélységig behatoló ionokkal módosított felület előnyösebb és jobb bioaktív viselkedést mutat, mint az eredeti Ti.

### *Környezetfizika*

Cellulóz alapú  $^{14}\text{C}$  kormeghatározást végeztek a Mohos tőzegláp (Déli-Kárpátok, Románia) felső 10 méteres üledékszelvényén. A Mohos üledék napjainktól az elmúlt 11,5 ezer évre nyúlik vissza a radiokarbonos korolás alapján, így a tőzegmoha növekedési üteme, és a benne megőrzött izotópos klímainformációk ezt a teljes időszakot ölelik fel. A tőzegmoha cellulóz  $^{18}\text{O}$ -tartalmából a múltbeli komplex klimatikus változásokra lehet következtetni, míg a  $^{13}\text{C}$  izotóptartalma a múltbeli nedvességi periódusokra reflektál. A vizsgált tőzegmintákból egyértelműen látszik, hogy a késő-pleisztocén során felmelegedés történt, ahogy a szén és oxigén deltaértékei egyre negatívabbá válnak az időben visszafelé haladva.

Tanulmányozták a nagyobb léptékű építkezések hatását a városi aeroszolszennyezés szintjére és összetételére a Debrecenben lezajlott villamospálya-építés folyamán. Megállapították, hogy az építkezés hatása inkább lokális volt a városon belül (500-1000 m), ez a hatás elhanyagolható volt a távolabbi pontokon. Közvetlenül az építkezés mellett 20-30-szoros volt a légköri aeroszol koncentrációja a távoli városi háttérhez képest. Az aeroszol összetétele nem változott jelentősen az építkezés alatt, ugyanakkor a Mn, Cr, Fe és Ni koncentrációja lokálisan több tízszerese volt az előző évek átlagának. Az építkezés mellett esetenként nagyon magas ólom és más nehézfém koncentrációt is mértek.

Erdélyben, a Hargita-hegység és a Csomád-hegység környezetében kimutatták, hogy számos esetben (például a Bardócz-mofetta, Hargitafürdői-mofetták) a szén-dioxid-fürdők légterében a radon anomális térbeli és időbeli változásokat mutat, amit úgy értelmeztek, hogy a medencékbe a szén-dioxid és a radon egymástól részben függetlenül, különböző helyen, és eltérő hozammal lép be. Ezen eredmények birtokában jobban tervezhető a medencétér optimális kialakítása. A mofettáknál rendszeresen szolgálatot teljesítő személyzet számára személyi radondoziméterek alkalmazását tartják célszerűnek, ami nélkül a radon-sugárterhelések becslésében akár egy nagyságrendnyi bizonytalanság is lehet.

A marokkói Tadla-medence turoni víztartó rétegének izotóp-analitikai tanulmányozása során a radiokarbon korok alapján megállapították, hogy a vizsgált vizek a holocén idején szivárogtak a felszín alá. A víztartó zárórétegekkel határolt részéről származó vizeinek nemesgáz-hőmérséklete (NGT) a mai átlagos talajhőmérséklet körül mozog, míg a beszivárgási területről vett vizek NGT-i néhány fokkal magasabbak voltak. Mindezek alapján megállapították, hogy a terület izotóphirdológiai vizsgálatokkal alkalmas a késő-pleisztocén során uralkodott klíma rekonstrukciójára, ha a vizsgált területet kiterjesztik az áramlás irányában a medence nyugati része felé, továbbá a Foszfát-plató előhegysége irányába.

A természetes és antropogén eredetű gadolínium koncentrációjának és napi mennyiségének meghatározását végezték el a debreceni szennyvízben. A gyógyászatban használatos

kontrasztanyagokkal analóg vegyület nyomon követését alkalmazták a szennyvízhálózaton és a tisztító rendszeren. A nyers szennyvízben a Gd koncentrációja az ülepitést követően nem csökkent. Az antropogén Gd aránya 60-70 % körüli volt. Szoros korrelációt találtak a felhasznált kontrasztanyag mennyisége és a szennyvízben mért antropogén gadolínium mennyisége között. A gadolínium koncentrációja a szennyvíz kezelés hatására nem csökkent jelentősen, a kontraszt anyag eredetű gadolínium jelentős része keresztüljut a szennyvíztelepen és kikerül a felszíni vizekbe.

Az Európai Unió célul tűzte ki a fosszilis tüzelőanyagok felhasználásának csökkentését és ennek hatósági ellenőrzését. A biogén komponens bekeverésének mérhetősége kapcsán felmerült a radiokarbon ( $^{14}\text{C}$ ) izotóp alapú mérésének alkalmazása, amihez egy egyszerűsített előkészítési és AMS mérési módszert dolgoztak ki a HEKAL munkatársai. A kidolgozott módszer megbízhatóságát, határfokát, reprodukálhatóságát, szórását s végül a teljes feltárássra és mérésre vonatkozó tipikus hiba és alsó méréshatár értékét a MOL-tól kapott különböző biogén tartalmú üzemanyag tesztminták segítségével ellenőrizték. A módszerrel tipikusan 0,2-0,3 m/m % pontossággal megadható a bekevert biogén komponens mennyisége még a 10 m/m %-os biotartalom szint alatt is.

A Kárpátok vulkáni vonulatát követő külső magmás ívet formáló intrúziós testeken végzett szisztematikus K-Ar kormeghatározással beigazolódott, hogy a körülbelül 15 millió évvel ezelőtt kialakuló Nyugati Kárpátokkal egyidejűleg ezen a területen is hasonló kémiai összetételű és típusú közettestek nyomultak fel a felszín közelbe, különböző vulkáni formákat alkotva. A K-Ar módszerrel mért kőzetkorokon alapuló kronológiai vizsgálatok bizonyították, hogy a több mint 600 km-en követhető magmás vonulat fejlődéstörténetében is érvényesül az észak-nyugatról dél-keleti irányba történő fiatalodási tendencia, amely a Kárpát-Pannon Medence geodinamikájával mutat nagyfokú hasonlóságot.

A Duluth Komplexum (Minnesota, USA) South Kawishiwi intrúziója csarnokitosodott fektűjének ásványtani, kőzettani és geokémiai vizsgálata segítségével négy különböző szulfidásvány paragnezist különítettek el a területen. Három ásványegyüttes (a pirrotin-pentlandit-kalkopirit, a kalkopirit-pirrotin és a bornit-kalkopirit-millerit- platinaásvány együttes) a parciálisan megolvadt gránitfekű (600-1000 °C becsült olvadási hőmérséklet) másodlagos permeabilitását kihasználva migrált a fektől mintegy 100 m mélységbe. A felsorolt ásványegyüttesek azt bizonyítják, hogy a Duluth Komplexum fektűje lokálisan rézben és nemesfémekben dús ércesedést tartalmaz, ezért annak nemesfém (platinaelem, arany) kutatása perspektívikus.

A South Kawishiwi (Duluth Komplexum, Minnesota, USA) intrúzió Spruce Road telepének fúrásában a másodlagos, a fektű gránit parciális olvadása által létrejött Cu-Ni-PGE (PGE=platinaelem) ércesedés forró fluidumok hatására bekövetkező harmadlagos remobilizációját vizsgálták. Az ércesedés képződése utáni medence eredetű fluidum áramlás a másodlagos ércesedés harmadlagos remobilizációját eredményezte, pirit-magnetit-kalkopirit ércásvány paragnezist létrehozva. A harmadlagos fluidum áramlást alacsony hőmérsékletű (200-250 °C) hőmérsékletű fluidumok végezték, alacsony nyomáson. Az ércesedést a kőzet klorit-albit-kalcit-kvarc-prehnit átalakulása kísérte. Kénizotópos vizsgálatok alapján a másodlagos (8‰) és a harmadlagos ércesedés (4 –5‰) egyértelműen elkülönült.



## II. b) Tudomány és társadalom

Az Atomki 2015-ben látogatócsoportok fogadásával, a Kutatók Éjszakája és a Fizikusnapok rendezvényeivel, valamint a disszeminációs pályázat által érte el a nagyközönséget.

Az Atomki tudományos eredményeinek terjesztése és népszerűsítése – Megérthető-elérhető fizika (TÁMOP-4.2.3-12/1/KONV-2012-0057) disszeminációs pályázat keretében elkészült a „*Miazma - avagy az ördög köve*” című interaktív film. A számítógépes kalandjáték során a nyomozás a híres kabai meteorit körül bonyolódik, melynek rejtélyét az Atomkiben fellelhető berendezések segítségével lehet megoldani. A játékos segítséget kap egyrészt választható lehetőségek, másrészt kis útmutatók formájában. A megfelelő továbblépés fizikai és természettudományos ismereteket, logikát és tiszta gondolkodást igényel. Az interaktív filmet tartalmazó DVD a Természet Világa 2015. áprilisi számának ingyenes mellékleteként jelent meg.

A kalandjáték februári díszbemutatójának alkalmával a mozi nagytermének nézőtere megtelt a meghívott debreceni és régióbeli középiskolák diákjaival és tanáraival. A bemutató előtt az előtérben elhelyezett számítógépeken lehetőség nyílt a játék kipróbálására, majd a film alkotóival ismerkedhetett meg a közönség, miközben részleteket is vetítettek illusztrációképpen. A díszbemutatóról rövid és hosszú videófilm készült, mely elérhető az interneten.

A fenti pályázat keretében készült egy gyerekeknek szóló fizika füzet „*Janika kérdez a fizikáról*” címmel, amelyben egy kisfiú az apukájával folytat párbeszédet a mindennapokban tapasztalt jelenségekről és azok magyarázatáról. A füzet színes rajzokkal gazdagon illusztrált, és az Öveges professzor idejében kiadott népszerű ismeretterjesztő kiskönyveket idézi.

A fenti pályázat keretében készült el az Atomki új weblapja, ahol a „*Fizika mindenkinek*” főmenü által az érdeklődő nagyközönség elérése a cél. A weblap különleges eleme a virtuális séta, mely a látogatók számára nem hozzáférhető berendezéseket és laboratóriumokat mutatja be. Minden laborhoz készült egy „*hogyan működik?*” és egy „*mire jó?*” ismertető, továbbá a látogató különböző helyekre állva körbenézhet, az eszközökről kis ismertetőket olvashat.

A weblapon keresztül olvasható az Atomki kutatói által 2015-ben írt 10 ismeretterjesztő cikk. Ezek legtöbbje a Természet Világa, egy pedig a National Geographic oldalain jelent meg.

A Kutatók Éjszakája alkalmával az Atomki munkatársainak és a Magyar Honvédség bűvárainak előző évi közös expedíciójának élményeit és eredményeit ismerhette meg a nagyközönség. Az expedíció célja a Retyezát hegység néhány magasan fekvő tavának üledéki feltérképezése volt.

A 2014-15-ös Hatvani István Fizikaverseny védnöke az Atomki volt. Ennek megfelelően az intézet több munkatársa közreműködött az egyes fordulók megszervezésében, valamint a feladatok kitűzésében és javításában. A májusi döntő utáni eredményhirdetésre az Atomkiben került sor.

A Fizikusnapokat 36. alkalommal rendezte meg az Atomki, ezúttal a fény nemzetközi éve jegyében. Az esemény révén az intézet részt vett a Magyar Tudomány Ünnepe keretében futó Kutatóhelyek Tárt Kapukkal programban. Négy napon keresztül hangzottak el előadások, melyre általános iskolástól nyugdíjas korúig jöttek érdeklődők, összesen 269 fő. A hét folyamán a délelőtti órákban iskolás csoportok érkeztek Debrecenből és más településekről, hogy a meghirdetett 26-féle rendhagyó óra valamelyikét meghallgassák; 46 rendhagyó óra hangzott el, melyen összesen 1345 látogatóórát töltöttek az intézetben.

Fentiekén kívül az év során 22 csoportban 642 fő érkezett az intézetbe (általános és középiskolások, egyetemisták, felnőtt érdeklődők) és összesen 1983 látogatóórát töltöttek el.

Legtávolabbról egy 55 fős görög középiskolás csoport érkezett. A Látogatóközpontban a radioaktív sugárzás tulajdonságaival és kimutatásával, a hidegfizikai bemutató alkalmával pedig az alacsony hőmérsékleten lejátszódó jelenségekkel ismerkedtek az érdeklődők.

### **III. A kutatóhely hazai és nemzetközi K+F kapcsolatai 2015-ben**

A nagy nemzetközi kollaborációk (pl. CERN-CMS, LIGO-EGRG, LUNA, stb.) mellett a kétoldalú kapcsolatok is jelentős szerepet játszanak az Atomki működésében. Ez utóbbiak 2015-ben újabb francia (CNRS), lengyel (PAN), japán (RIKEN, Sapporoi Egyetem) és dél-afrikai (NECSA) együttműködésekkel bővültek.

2015. szeptemberében az Atomkiben került megrendezésre a Sign (*Sign Problem in QCD and Beyond*) 2015 nemzetközi workshop, amely a másfél évente megrendezett Sign Workshopok sorozatában a negyedik volt. Szintén az Atomki adott otthont decemberben az INARIE (*Integrating Access to Pan-European Research Infrastructures in Central and Eastern Europe*) workshop, valamint áprilisban az *Atomki for ELI* mini workshop rendezvényeinek. Az Atomki szervezésében került sor márciusban a PIPAMON 2015 (*Photon and fast Ion induced Processes in Atoms, MOlecules and Nanostructures*), novemberben pedig a 3rd XLIC General Meeting (*XUV/X-ray Light and Fast Ions for Ultrafast Chemistry*) workshopokra.

2015-ben egy-egy kutató töltött az Atomkiben legalább 3 hónapot Ausztriából, Iránból, Kínából, Romániából és Ukrajnából, köztük Joachim Burgdörfer a Bécsi Műszaki Egyetemről, aki ehhez az MTA öthónapos vendégkutatói pályázatát nyerte el. Az Atomki fogadott MTA Domus ösztöndíjas látogatót is az Ungvári Egyetemről.

Az Atomki Külső Tanácsadó Testülete 2015. november 30-án tartotta ülését az intézetben, ahol a részecskefizikai kutatás és a atomfizikai alkalmazások helyzetét vitatták meg.

A felsőoktatásban való részvétel 2015-ben is fontos szerepet töltött be az intézet kutatóinak tevékenységében. A meghirdetett 62 kurzus keretében 1008 tantervi óra megtartásával járultak hozzá az oktatáshoz. A gyakorlati órák száma 2015-ben 535 volt, 30 kurzus keretében. Az oktatásban összesen 39 kutató vett részt. A beszámolási időszak folyamán 16 PhD-, 6 diplomamunkás, 14 szakdolgozó és 5 TDK-hallgató dolgozott az intézetben, a témavezetésre fordított órák száma összesen 5625 volt. Az intézetben folytatódott a kutatóhallgatói ösztöndíjas program, amelynek keretében egyetemisták vállalnak részt a kutatómunkában. A tavaszi és az őszi félévben 8, illetve 6 ösztöndíjas vett részt ebben a programban. Az Atomki kutatói a Debreceni Egyetem mellett a BME, a szegedi, miskolci, győri és nyugat-magyarországi egyetemek oktató és/vagy kutatómunkájában is részt vettek.

Doktori képzésben 45 Atomkis kutató volt érdekelt, köztük hatan doktori iskolai törzstagként. Közülük három a Debreceni Egyetem fizikai, kettő az informatikai doktori iskolájának, egy pedig a Nyugat-magyarországi Egyetem környezetfizikai doktori iskolájának törzstagja.

A kutatóintézetek közül az Atomkinek hagyományosan az Wigner Fizikai Kutatóközponttal vannak legszorosabb kapcsolatai, míg új partnerként az ELI-ALPS említhető meg. A vállalati szférából az MVM Paksi Atomerőmű Zrt. a legjelentősebb együttműködő.

### **IV. A 2015-ben elnyert fontosabb hazai és nemzetközi pályázatok rövid bemutatása**

2015. december elsején az MTA elnöke adta át a Részecskegyorsító Centrum tandetron típusú gyorsítóját. Az új gyorsító beszerzésére az Atomki több kutatócsoportja együtt pályázott az MTA infrastruktúra pályázatán. A tandetronhoz egyelőre egy egyszerű

nyalábcsatorna-rendszert építettek, amit a későbbiekben tovább fejlesztenek, lehetőség szerint további pályázati forrásokból. Széles témakörön végeznek majd rajta alap- és alkalmazott kutatásokat a magfizika, nukleáris asztrofizika, atomfizika, ionnyaláb-analitika és mikromegmunkálás területén.

Az intézetben 2015-ben indult fontosabb projektek a következők:

- IPERION CH (*Integrated Platform for the European Research Infrastructure ON Culture Heritage*). A Horizon 2020 keretében elnyert pályázat 2015. szeptemberében indult és teljes összege 94,250 Euró.
- ESS (*European Spallation Source*), RF-LPS rendszerintegráció, 2015. december, 2,2 millió Euró.
- Többrészecskés nemlokalitás, OTKA, K111734, 2015. január, 48 hónap, 17,223 eFt.
- Kvantum-szándinamika rácson királis kvarkokkal, OTKA, K113034, 2015. január, 48 hónap, 24,511 eFt.
- Atommagok különleges körülmények között, OTKA, NN114454, 2015. április, 36 hónap, 20,946 eFt.

## V. A 2015-ben megjelent jelentősebb tudományos publikációk

Cseh J.: Algebraic models for shell-like quarteting of nucleons. Phys Lett B, 743: 213. (2015) <http://arxiv.org/abs/1409.0124>

Lévai G.: PT symmetry in Natanzon-class potentials. Int J Theor Phys, 54 paper 2724. 36 (2015) <http://real.mtak.hu/30453/>

Pál K.F., Vértesi T.: Closing the detection loophole in tripartite Bell tests using the W state. Phys. Rev. A, 92, paper 022103 (2015) <http://arxiv.org/abs/1504.05934>

Khachatryan V., Bencze Gy., Hajdu C., Hidas P., Horváth D., Siklér F., et al. (2811), Béni N., Karacsi J., Molnár J., Pálinkás J., Szillási Z., Makovec A., (CMS+LHCb Collaboration): Observation of the rare  $B_s^0 \rightarrow \mu^+\mu^-$  decay from the combined analysis of CMS and LHCb data. Nature 521 7551:68-72 (2015)  
OA: <http://www.nature.com/nature/journal/v522/n7554/full/nature14474.html>

Giordano M.: Renormalization of gauge theories on general anisotropic lattices and high-energy scattering in QCD. Phys Rev D, 92: 034514 (2015) <http://arxiv.org/abs/1506.04529>

Aad G., Krasznahorkay A. Jr., Pásztor G., Bencze Gy., Hajdu Cs., Házi A., et al. (5132) Horváth D., Béni N., Czellár S., Karacsi J., Molnár J., Szillási Z., Makovec A., (ATLAS+CMS Collaboration): Combined measurement of the Higgs boson mass in pp collisions at  $\sqrt{s} = 7$  and 8 TeV with the ATLAS and CMS experiments. Phys Rev Lett, 114: 1803 (2015) <http://arxiv.org/pdf/1503.07589.pdf>

Defenu N., Mati P., Marian I.G., Nándori I., Trombettoni A.: Truncation effects in the functional renormalization group study of spontaneous symmetry breaking. JHEP 2015: 141. (2015) <http://arxiv.org/abs/1410.7024>

Újfalusi L., Giordano M., Pittler F., Kovács T.G. and Varga .I: Anderson transition and multifractals in the spectrum of the Dirac operator of Quantum Chromodynamics at high temperature. Phys Rev D, 92: 094513 (2015) <http://arxiv.org/abs/1507.02162>

Vajta Zs., Dombrádi Zs., Elekes Z., Aiba T., Nori Aoi., Baba H., et al. (21), Fülöp Zs., Sohler D.: Gamma-ray spectroscopy of  $^{19}\text{C}$  via the single-neutron knock-out reaction. Phys Rev C, Nucl Phys 91: 064315 (2015) <http://arxiv.org/abs/1504.07394>

Kiss G.G., Szücs T., Raucher T., Török Zs., Csedreki L. Fülöp Zs. Gyürky Gy., Halász Z.: Measurement of  $(\alpha, n)$  reaction cross sections of erbium isotopes for testing astrophysical rate predictions, J Phys G 42: 055103 (2015) <http://arxiv.org/abs/1503.01853>

Ornelas A., Kiss G. G., Mohr P., Galavíz D., Fülöp Zs., Gyürky Gy., et al. (5) Máté Z., Somorjai E.: The  $^{106}\text{Cd}(\alpha, \alpha)^{106}\text{Cd}$  elastic scattering in a wide energy range for gamma process studies, Nucl Phys A: 940, 194 (2015) <http://arxiv.org/abs/1504.07703>

Elekes Z., Tímár J: Nuclear Data Sheets for A = 128, Nucl Data Sheets 129: 191-436 (2015) doi:10.1016/j.nds.2015.09.002

Cavanna F., Depalo R., Aliotta M., Anders M., Bemmerer D., Best A. et al., (27) Elekes Z., Fülöp Zs. Gyürky Gy., Somorjai E., (LUNA Collaboration) : Three new low-energy resonances in the  $^{22}\text{Ne}(p, \gamma)^{23}\text{Na}$  reaction. Phys Rev Lett 115: 252501 (2015) <http://arxiv.org/abs/1511.05329>

Santamaria C., Louchart C. , Obertelli A., Werner V., Doornenbal P., Nowacki F., Authalet G. et al. (60), Dombrádi Zs., Vajta Zs.: Extension of the N=40 Island of Inversion towards N=50: Spectroscopy of  $^{66}\text{Cr}$ ,  $^{70,72}\text{Fe}$ , Phys Rev Lett 115: 192501, (2015) <http://www.osti.gov/pages/biblio/1224927-extension-island-inversion-towards-spectroscopy-cr-fe>

Larusso G., Nishimura S., Xu Z.Y., Jungclaus A., Shimizu Y., Simpson G. et al (68) Vajta Zs.:  $\beta$ -Decay Half-Lives of 110 Neutron-Rich Nuclei across the N=82 Shell Gap: Implications for the Mechanism and Universality of the Astrophysical r Process. Phys Rev Lett 114: 192501 (2015) doi: 10.1103/PhysRevLett.114.192501

Benzoni G., Morales A. I., Watanabe H., Nishimura S., Coraggio L., Itaco N., et al (42) , Dombrádi Zs., Kuti I., Sohler D., Vajta Zs.: Decay properties of  $^{68,69,70}\text{Mn}$ : Probing collectivity up to N = 44 in Fe isotopic chain, Phys Lett B: 751, 107-112, (2015) OA: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0370269315007765>

Morfouace P., Franchoo S. Sieja K., Matea I., Nalpas L., Niikura M., Dombrádi Zs., et al (39), Sohler D., Vajta Zs.: Evolution of single-particle strength in neutron-rich  $^{71}\text{Cu}$ , Phys Lett B 751: 306-310, (2015) <http://franchoo.web.cern.ch/franchoo/physics/plb751.pdf>

Corsi A., Boissinot S., Obertelli A., Doornenbal P., Dupuis M., Lechaftois et al. (54) Sohler D.: Neutron-driven collectivity in light tin isotopes: Proton inelastic scattering from  $^{104}\text{Sn}$ . Phys Lett B 743: 451 (2015) OA doi: doi:10.1016/j.physletb.2015.03.018

Huszánk R., Rajta I., Cserhádi Cs.: Direct formation of high aspect ratio multiple tilted micropillar array in liquid phase PDMS by proton beam writing. Eur Pol J 69: 396 (2015) <http://real.mtak.hu/29234/>

Huszánk R., Rajta I., Cserhádi Cs.: Proton beam lithography in negative tone liquid phase PDMS polymer resist. Nucl Instr Meth B 348: 213 (2015) <http://real.mtak.hu/29235/>

Csedreki L., Szíki G.Á., Szikszai Z., Kocsis I.: Resonance parameters of the reaction  $^{12}\text{C}(\text{d},\text{p}\gamma)^{13}\text{C}$  in the vicinity of 1450 keV for accelerator energy calibration. Nucl Instr Meth B 342: 184-187 doi:10.1016/j.nimb.2014.09.038

Tárkányi F., Hermanne A., Takács S., Ditrói F., Ignatyuk A. V.: Activation cross-sections of proton induced reactions on natSm up to 65 MeV. Nucl Instr Meth B 346: 26-44 (2015) <http://real.mtak.hu/32183/>

Ditrói F., Tárkányi F., Takács S., Hermanne A.: New developments in the experimental data for charged particle production of medical radioisotopes. J Radioanal Nucl Chem 305: 247-253 (2015) <http://arxiv.org/abs/1503.00919>

Neppl S., Ernstorfer R., Cavalieri A. L., Lemell Ch., Wachter G., Magerl E., et al. (10), Burgdörfer J.: Direct observation of electron propagation and dielectric screening on the atomic length scale.

Nature 517: 342-346 (2015) <http://tqd.itp.tuwien.ac.at/fileadmin/t/tqd/papers/nature14094.pdf>  
Sarkadi L.: Classical treatment of the electron emission from collisions of uracil molecules with fast protons, Phys Rev A 92: 062704 (2015) doi: 10.1103/PhysRevA.92.062704

Nagy G.U.L., Rajta I., Bereczky R.J., Tőkési K.: Incident beam intensity dependence of the charge-up process of the guiding of 1 MeV proton microbeam through a Teflon microcapillary, Eur Phys J D 69: 102 (2015) doi: 10.1140/epjd/e2015-50718-3

Herczku P., Juhász Z., Kovács S. T. S., Rácz R., Biri S., Tóth J., Sulik B.: Guiding of  $\text{Ar}^{7+}$  ions through a glass microcapillary array. Nucl Instr Meth B 354: 71-74 (2015) doi:10.1016/j.nimb.2014.11.004

Müller A., Borovik A., Buhr T., Hellhund J., Holste K., Kilkoyne A. et al. (6) Ricz S.: Observation of a four-electron Auger process in near-K-edge photoionization of singly charged carbon ions. Phys Rev Lett 114: 013002 (2015) <http://real.mtak.hu/31774/>

Chesnel J.-Y., Juhász Z., Lattouf E., Tanis J.A., Huber B.A., Bene E., et al. (6) Kovács S.T.S., Herczku P., Sulik B.: Anion emission from water molecules colliding with positive ions: Identification of binary and many-body processes. Phys Rev A 91: 060701. (2015) <http://arxiv.org/abs/1506.09006>

Kövér L.: Coincidence, Resonant, and High-Energy Electron Spectroscopies – Resonant Auger, Electron Coincidence for Surface Analysis. Chapter in the: Encyclopedia of Analytical Chemistry, (2015) doi: 10.1002/9780470027318.a9390

Takáts V., Trunov M.I., Vad K., Hakl J., Beke D.I., Kaganovskii Yu. et al. (1): Low-temperature photo-induced mass transfer in thin As<sub>20</sub>Se<sub>80</sub> amorphous films. *Mat Lett* 160: 558–561 <https://dea.lib.unideb.hu/dea/handle/2437/216054>

Kövér L.: Surfaces and interfaces: Combining electronic structure and electron transport models for describing electron spectra. *Front Mat* 2:35 (2015) OA doi: 10.3389/fmats.2015.00035

Frigeri C., Serényi M., Szekrényes Zs., Kamarás K., Csik A., Khánh N.Q.: Effect of heat treatments on the properties of hydrogenated amorphous silicon for PV and PVT applications. *Sol Energy* 119: 225-232 (2015) <http://real.mtak.hu/31647/>

Malolepszy A., Mazurkiewicz M., Stobinski L., Lesiak B., Kövér L., Tóth J., et al. (4) Deactivation resistant Pd-ZrO<sub>2</sub> supported on multiwall carbon nanotubes catalyst for direct formic acid fuel cells. *Int J Hyd Energy* 40: 16724-16733 (2015) doi: 10.1016/j.ijhydene.2015.08.048

Kéri M., Palcsu L., Túri M., Heim E., Czébely A., Novák L., et al. (1): <sup>13</sup>C NMR analysis of cellulose samples from different preparation methods. *Cellulose* 22: 2211-2220 (2015) 10.1007/s10570-015-0642-y

Major I., Furu E., Haszpra L., Kertész Zs., Molnár M.:

One-year-long continuous and synchronous data set of fossil carbon in atmospheric PM<sub>2.5</sub> and carbon dioxide in Debrecen, Hungary. *Radiocarbon* 57: 991-1002.(2015), <http://real.mtak.hu/27792/>

Benkó Zs., Mogessie A., Molnár F., Krenn, Poulson S.R., Hauck S.A., et al. (2):

Hydrothermal alteration and Cu-Ni-PGE mobilization in the charnockitic rocks of the footwall of the South Kawishiwi intrusion, Duluth Complex, USA. *Ore Geol Rev* 67: 170-188 (2015) OA doi:10.1016/j.oregeorev.2014.11.010

Benkó Zs., Mogessie A., Molnár F., Severson M.J., Hauck S. A., Raic S:

Partial melting processes and Cu-Ni-PGE mineralization in the footwall of the South Kawishiwi intrusion at the Spruce Road Deposit, Duluth Complex, Minnesota *Economic Geology* Vol. 110, 1269-1293. (2015)

Seghedi I., Helvaci C., Pécskay Z.: Composite volcanoes in the south-eastern part of Izmir-Balikesir Transfer Zone, Western Anatolia, Turkey. *J Volc Geo Res* 291: 72 (2015) doi:10.1016/j.jvolgeores.2014.12.019

Orsovszki, G. Rinyu, L.: Flame-Sealed Tube Graphitization Using Zinc as the Sole Reduction Agent: Precision Improvement of EnvironMICADAS <sup>14</sup>C Measurements on Graphite Targets. *Radiocarbon* 57, 5 979-990 (2015) OA doi: 10.2458/azu\_rc.57.18193

Tóth, M., Magyari, E.K., Buczkó, K., Braun, M., Panagiotopoulos, K., Heiri, O.: Chironomid-inferred Holocene temperature changes in the South Carpathians (Romania). *Holocene* 25: 569–582. <http://real.mtak.hu/22236>