

## **ATOMMAGKUTATÓ INTÉZET**

4026 Debrecen, Bem tér 18/c, 4001 Debrecen, Pf. 51.  
telefon: (52) 509 200, fax: (52) 416 181  
e-mail: director@atomki.mta.hu, honlap: <http://www.atomki.mta.hu>

### **I. A kutatóhely fő feladatai 2016-ban**

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. Az infrastrukturális fejlesztések között kiemelt jelentőségű volt a tandemtron beruházás második fázisának megvalósítása. Az intézeti infrastruktúra fejlesztésében óriási lehetőségeket nyitnak meg az év folyamán elnyert GINOP pályázatok. Az Atomki 2016-ban is jelentős szerepet vállalt az egyetemi oktatásban, a PhD képzésben, a nemzetközi szakemberképzésben és a tudomány népszerűsítésében.

### **II. A 2016-ban elért kiemelkedő kutatási és más jellegű eredmények**

#### **a) Kiemelkedő kutatási eredmények**

##### *Elméleti fizika*

A kvantum informatika terén egy kétrészes összefonódott hibrid kvantumrendszert vizsgáltak, ahol a rendszer egyik fele egy jól karakterizált, míg a másikat fekete doboznak tekintették. Az „EPR steering” jelensége akkor figyelhető meg, amikor a fekete doboz rendszeren méréseket hajtunk végre, amelynek eredményeként a mérések a jól karakterizált rendszer állapotát befolyásolni tudják. Ezt a jelenséget Schrödinger írta le először 1936-ban, amelyet Wiseman és társai öltöttek modern kvantuminformáció-elméleti formába 2007-ben, és amelyet azóta számos kvantumoptikai kísérletben sikerült igazolni. Az „EPR steering” jelenséget szimulálták olyan módon, hogy a két rendszer összefonott kvantumrészecskéit klasszikus kommunikációval helyettesítették. Egyik fő eredményként sikerült megmutatni, hogy bármely tiszta kétkubites összefonott kvantumállapot egzakt szimulációjához végtelen bit klasszikus kommunikáció szükséges.

Az N-kubites W-állapot nemlokalitásának robusztusságát vizsgálták részecskevesztésből származó zaj esetén. A W-típusú kvantumállapotok a kvantumhálózatokban, azon belül pedig a kvantummemóriákban játszanak kulcsszerepet. Sikerült résztvevőnkénti két mérés esetén analitikus alsó és felső határt találni a kritikus részecskeszámra, ami feletti veszteség esetén a kvantumrendszer már nem mutat nemlokális tulajdonságot. Az eredmények a W-típusú állapotok fotonvesztés esetén történő kitűnő zajtűrését támasztják alá, ami kvantuminformaticai alkalmazásokban előnyös tulajdonság.

Az atommag szerkezetének elméleti leírása során egy új szimmetria lehetőségét fedezték fel, mely összeköti az atommagok kis energiás héjmodell állapotait a nagy energiás fűrtösödött (klaszter) állapotokkal. Ez a klaszter-héj dinamikai szimmetria a sokcsatornás szimmetriának egy új válfaja. Segítségével egységesen írható le a magok spektruma az alapállapottól az igen magasan gerjesztett rezonanciákig. Szerencsés esetben az alacsonyan fekvő állapotokból akár megjósolhatók a nagy energiás gerjesztések. Úgy tűnik, hogy a természetben megvalósul ez az új szimmetria. Erre utal a <sup>28</sup>Si atommagra végzett vizsgálatok eredménye. A kis energiás

magállapotok kvartettmodell-leírásából megjósolták a  $^{12}\text{C}+^{16}\text{O}$  fűrtösödött (klaszter) állapotok teljes spektrumát, igen jó egyezésben a kísérleti adatokkal. Ez az első elméleti munka, ami a két tartományt egységesen tárgyalja, ráadásul a nagy energiás gerjesztések teljes egészében elméleti előrejelzésként adódtak. A modell magába foglalja az újonnan felfedezett szuperdeformált sávot is (melynek tulajdonságait korábban megjósolták). E vizsgálat azt a régi sejtést is igazolja, hogy a  $^{12}\text{C}+^{16}\text{O}$  molekuláris állapotok a szuperdeformált völgy, vagyis az energia második minimumához tartozó potenciálvölgy gerjesztései.

### *Részecskefizika*

A Wuppertali Egyetem és az ELTE kutatóival együttműködve becslést adtak az axion nevű hipotetikus részecske tömegére. Az axion, amennyiben létezik, a részecskefizika két, hosszú ideje megoldatlan, alapvető kérdésére is választ adhat. Több évtizede ismert, hogy az erős kölcsönhatás elvileg sérthetné az időtükrözési szimmetriát, azonban rejtélyes módon ez a szimmetriasértés kísérletileg kimutathatatlan. Erre a rejtélyre adhatna természetes és egyszerű magyarázatot az axion létezése. Másrészt jó esély van arra, hogy nagyrészt axionokból áll a sötét anyag, melynek létezésére gravitációs hatásából következtethetünk, azonban összetételét mindmáig nem sikerült meghatározni. Az axion kimutatásának egyik legnagyobb nehézsége, hogy tömegéről semmit nem tudunk. A jelen munkában az axion tömegére adott becslés fontos szerepet játszhat a részecske kimutatására irányuló jövőbeli kísérletek tervezésében. A munkából készült publikáció a *Nature*-ben jelent meg.

Korábbi eredményeikre alapozva vizsgálták azt az 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. A modell kritikus pontjának közelében végzett részletes vizsgálatokkal kimutatták, hogy ez az effektív modell a QCD véges hőmérsékletű átmenetének minden lényeges aspektusáról képes számot adni. Ez, és az előző pontban ismertetett kutatás az MTA Lendület programja által támogatott MTA Atomki Lendület Rács Kvantum-szindinamika Kutatócsoportjának keretében valósult meg.

2016 során részt vettek a CMS pixel detektor kalibrációiban és működésének folyamatos kiértékelésében, amellyel gondoskodtak a detektor hatásfokának és felbontásának maximalizálásáról. Ezen eredmények hozzásegítettek a Nagy Hadronütköztető (LHC) pixel detektor alapú luminozitás méréseihez is. Mindezek mellett a szimulációt beállították úgy, hogy jól reprodukálja a pixel detektoron mért hatásfokokat.

A csoportot felkérték, hogy vizsgálja meg az endcap helyzetmeghatározó rendszer állapotát, további működtetésének lehetőségét, valamint az adatkiértékelés esetleges átvételét. A korábbi évek nyers mérési adatait elemezve kiderült, hogy a mérések megbízhatósága nem megfelelő, a hibás mérések magas száma nem teszi lehetővé az endcap helyzetének geometriai rekonstrukcióját. Ebből a konklúzióból kiindulva javaslatot dolgoztak ki egy új rendszer megépítésére, amely a megbízhatóan és kellő pontossággal méri a GE2/1 jelű új műondetektor pozícióját.

A CMS műondetektorok helyzetmeghatározásával kapcsolatos második tevékenység a GE1/1 jelű, új detektorkamrák pozíciójának mérésével kapcsolatos munka. Az elmúlt évben javasolt rendszer kulcseleme egy a csoport által kidolgozott távolságmérő szenzor, amely a CMS-ben már kiterjedten használt száloptikás FBG szenzorok egy új, innovatív alkalmazása. Ebben az

évben elkészült a szenzor prototípusa, amely az ellenőrző mérések során igazolta a várakozásokat, egyben megmutatta, milyen továbbfejlesztések, módosítások szükségesek.

2015-ben jött létre a Mátra Gravitációs és Geofizikai Laboratórium (MGGL). A laboratórium egy Gyöngyösorszi közelében levő, használaton kívüli bányában, 88 m-rel a felszín alatt létesült, azzal a céllal, hogy vizsgálható legyen a helyszín alkalmassága egy jövőbeli gravitációshullám-detektor befogadására. A laborban többek közt egy Atomkiben kifejlesztett infrahang monitorozó rendszert is üzembe helyeztek az infrahang, mint lehetséges zajforrás vizsgálatának céljából.

### *Magfizikai alap kutatás*

Egy Debrecenben épített elektron-pozitron spektrométerrel vizsgálták a nagy energiás atommagátmenetekben keletkező elektron-pozitron párok szögkorrelációját. A szögkorrelációk elvileg jól leírhatók egy sima lefutású görbével. A  $^8\text{Be}$  18,15 MeV-es átmenete esetén azonban nagy szögeknél szignifikáns, csúcyszerű eltérést tapasztaltak, amit a jelenlegi magfizikai ismeretek alapján nem lehet értelmezni. Ez ugyanakkor összhangban van egy új, kis tömegű semleges részecske feltételezésével, aminek a tulajdonságai jól egyeznek bizonyos elméletek sötét fotonra vonatkozó jóslataival. Az úgynevezett sötét fotont a sötét anyag részecskéi közötti kölcsönhatás leírására vezették be – az elektromágneses kölcsönhatás közvetítő részecskéjének az analógiájára. Eredményeiről *Physical Review Lettersben* számoltak be, amire a *Nature* is rövid idő után nagyon pozitívan reagált.

Az Atomki kutatói a GSI-ben nemzetközi együttműködésben vizsgálták a vas izotópok szerkezetét. A kétneutron-kilökéses reakcióban előállították az  $^{54}\text{Fe}$  nagyon hosszú életidejű gerjesztett állapotát is annak ellenére, hogy ezen állapot szerkezetének a kialakításában négy nukleon vesz részt. Megmutatták, hogy ez az állapot csak úgy populálódhatott, hogy a mag egyik neutronja is gerjesztődött a nagy energiás ütközési folyamatban. A megfigyelt metastabil magállapot a nukleongerjesztés következménye.

Az atommagok királis forgásában megnyilvánuló spontán szimmetriasértés során fellépő többszörös kiralitás jelenségének vizsgálatában is új eredményt értek el. A  $^{78}\text{Br}$  atommagban egy pozitív és egy negatív paritású sávpárt, és ezek "yrast"-sávjait összekötő nyolc erős elektromos-dipól átmenet azonosítottak. A sávok tulajdonságait összevetve „mikroszkopikus többdimenziósan-korlátozott kovariáns sűrűségfüggő elmélet” és „triaxiális részecske-rotor modell” számítások eredményeivel, azokat okkupál korrelációkat mutató többszörös királis sávpárokként azonosították. Ezzel elsőként mutatták ki királis geometria előfordulását egy okkupál deformációval szemben „puha” atommagban, ami egyben arra utal, hogy a magfizikai kiralitás az okkupál korrelációk mellett is stabilan fennmaradhat. A kérdéses atommag új nívósémája a *Physical Review Letters* címlapjára került.

A LUNA nemzetközi együttműködés mélyen földalatti gyorsítójának egyedi lehetőségeit kihasználva a  $^{17}\text{O}(p,\alpha)^{14}\text{N}$  reakció asztrofizikai szempontból legfontosabb, alacsony energiás rezonanciájának erősségét nagy pontossággal mérték meg. Az előrehaladott hidrogénégési folyamatok e kulcsreakciója különböző asztrofizikai körülmények között is lejátszódik és meghatározza többek között a természetben található stabil oxigénizotópok arányát. Az új mérések alapján a reakció mintegy kétszer nagyobb sebességgel játszódik le a korábban számítottnál, ami közvetlen hatással van az izotóparányokra. Az új eredmények birtokában megmagyarázhatóvá válik bizonyos csillagporszemcsék összetételének eddig rejtélyes eredete.

Egy igen ritka nemesgázizotópon, a  $^{124}\text{Xe}$ -on végeztek el első ízben  $(\alpha,\gamma)$  és  $(\alpha,n)$  reakcióhatáskeresztmetszet mérést az Atomki ciklotron gyorsítójának és egy, az Atomkiben kifejlesztett aktivációs gázcellának a segítségével. Az eredmények alapján megszorítást adtak a  $^{124}\text{Xe}$  szupernóva-robbanások során való keletkezésének lehetséges módjaira.

Az utóbbi évek nehéz elemek szintézisével kapcsolatos kutatásainak egyik legfontosabb eredménye az alacsony energiás alfa-mag optikai potenciál fontosságának és nem kielégítő leírásának felismerése. Az optikai potenciál pontosítása érdekében a  $^{64}\text{Zn}+\alpha$  rendszer átfogó vizsgálatát végezték el rugalmas és rugalmatlan szórási, valamint  $\alpha$ -indukált reakciók hatáskeresztmetszetének mérésével. Nagy pontossággal igazolták a szórási és közbelsőmag-reakciókból származtatott teljes hatáskeresztmetszetek azonosságát, valamint igazolták, hogy a nemrégiben az Atomki kutatói által kifejlesztett új globális potenciál megfelelően írja el a vizsgált folyamatokat alacsony, asztrofizikailag lényeges energiákon.

### *Magfizikai alkalmazások*

Vékony (50-500 nm) szilícium-nitrid fóliákat nagy stabilitásuk miatt a magfizikában gyakran alkalmaznak céltárgyként hatáskeresztmetszet mérésekhez, de ezek a filmek szolgálnak vákuumból levegőre kilépő ablakként is. Ezekhez a kísérletekhez fontos ismerni a fólia fizikai és kémiai tulajdonságait. Ionnyaláb-analitikai módszerek és profilometria alkalmazásával meghatározták kereskedelmi forgalomban kapható SiN fóliák sűrűségét, vastagságát és pontos összetételét. Megállapították, hogy a fóliák sűrűsége jelentősen (15-20%) eltér a gyártók által megadott, és a SRIM szoftverbe beépített értékektől.

A részecskeindukált  $\gamma$ -kibocsátás (PIGE) az ionnyaláb-analízis (IBA) egyik módszere. Standardnélküli, kvantitatív PIGE analízis kivitelezéséhez megbízható és pontos hatáskeresztmetszet adatokra van szükség. Az IBA nemzetközi adatbázisának, az IBANDL-nek a fejlesztéséhez értékelni kell a meglévő hatáskeresztmetszet adatokat, és pontos hatáskeresztmetszet méréseket kell végezni. A jelen munkában  $^{12}\text{C}$ ,  $^{14}\text{N}$  és  $^{16}\text{O}$  magokon (d,p $\gamma$ ) reakciókban mért differenciális  $\gamma$ -kibocsátási hatáskeresztmetszet adatsorokat származtattak standardnélküli PIGE analízisekhez.

Mikrofluidikai eszközöket terveztek cirkuláló ráksejtek humán vérből történő kiszűrésére. Az alkatrészeket PDMS polimerből készítették, Protonnyalábos mikromegmunkálással folyékony PDMS rezisztben hozták létre egyenes és döntött mikrostruktúrákat. Ezeket a mikrostruktúrákat az együttműködő partnerekkel integrálták PDMS alapú mikrofluidikai rendszerekbe. A MTA-PE Transzlációs Glikomika Lendület kutatócsoportja ezen mikrofluidikai eszközök hatékonyságát és hidrodinamikai karakterisztikáját élesztősejtekkel tesztelte.

Hat méréssorozatot végeztek a H2020 IPERION CH (*Integrated Platform for the European Research Infrastructure ON Culture Heritage*) projekt keretében. Meghatározták bizánci és itáliai üvegminták elemösszetételét, kovaköveket vizsgáltak a Pireneusok területéről, folytatták a vallásos témájú textilekkel kapcsolatos kutatásokat. Hozzájárultak a Nemzeti Múzeumban őrzött ezüstletről szóló ismeretanyag kibővítéséhez. Megadták számos, hazai múzeumokban fellelhető arany és bronztárgy elemösszetételét. Szisztematikusan vizsgálták egyes érzékeny anyagok ionnyalábokkal szembeni ellenálló képességét.

Módszert dolgoztak ki  $^{52}\text{Mn}$  radioizotóp elválasztására, besugárzott fém krómból. A módszer kloro-komplexek eltérő stabilitásán alapul. A króm-klorokomplex kölcsönhatás nélkül folyik

át az ionkromatográfiás oszlopon, míg a mangán-klorokomplex visszatartása mintegy 3 holtterfogatnak felel meg. Eddig mintegy 60 %-os kinyerést sikerült elérni, melyben kimutatható szennyező  $^{51}\text{Cr}$  radioizotópot nem találtak. A  $^{52}\text{Mn}$ , mint PET radioizotóp nagyon ígéretes az in situ PET-MRI vizsgálatok számára, ahol a paramágneses mangánnal váltják ki a korábban használt, de mérgezőnek bizonyult gadolínium kontrasztanyagokat.

A vékonyréteg-aktiváció során kifejlesztették az alacsony részarányú mintaösszetevők alapján történő kopásvizsgálatot, eddig még nem használt radioizotópok felhasználásával. A mintákban többféle besugárással több ponton különböző izotópokat hoztak létre, ami lehetővé tette egy minta több helyen való kopásának követését, valamint több összetartozó minta egyidejű kopásvizsgálatát. Ehhez további hatáskeresztmetszeteket határoztak meg a vékonyréteg-aktiváció céljaira, beleértve az eddig csak ritkán használt  $\alpha$ - és  $^3\text{He}$  részecske indukált reakciókat, és ezekkel a NAÜ töltött részecske-aktivációs adatbázisait is bővítették.

Ritkaföldfémeket vizsgáltak radioizotópok előállításának optimalizálására. Új kísérleti reakció-hatáskeresztmetszeteket határoztak meg referencia adatbázisokhoz, a megfelelő elméleti modellek kidolgozásához, illetve az adatok gyakorlati alkalmazásához. A vizsgált target anyagok: Al, Ti, Ca, Cd, Cu, Mo, Sc, Sr, Ti, Tm, Y, Zn. Új terápiás radiofarmakonokat állítottak elő ( $^{67}\text{Cu}$ ,  $^{186}\text{Re}$ ,  $^{47}\text{Sc}$ ). A stabil réz előállítását vizsgálták  $^{64}\text{Cu}$  termelése során, proton és deuteron reakciókban.  $^{\text{nat}}\text{Gd}+d$  magreakciókat vizsgáltak a  $^{155}\text{Tb}$  és a  $^{161}\text{Tb}$  orvosi célú radioizotópok termelési körülményeinek kidolgozására.

A KSTAR fúziós reaktornál (Dél-Korea) felaktiválódott kerámiák aktivitását mérve detektálták a plazmákból kiszökő fúziós termékeket. Bebizonyították, hogy az  $30\text{Y}_2\text{O}_3 \cdot 30\text{P}_2\text{O}_5 \cdot 40\text{SiO}_2$  üvegkerámia por termolumineszcens választ ad gyorsneutron- és gamma-dózisra, ami a jövő nukleáris technológiáihoz használandó üvegkerámiák sugárkárosodásának mérését teszi lehetővé.

SiPM eszközök sugárkárosodását mérték széles spektrumú p+Be neutronok kevert neutron-gamma mezőjében. A sötétáram a neutronfluxus függvényében nőtt, és függött a hőmérséklettől. A letörési feszültség változása nem volt szignifikáns a  $\Phi \leq 10^{12} \text{ n/cm}^2$  tartományban.

### *Atom- és molekulafizika*

Metán és vízmolekulák ionizációját vizsgálták a bombázó ion perturbációerősségének függvényében, az ionbesugárzásos daganatterápia szempontjából hasznos töltés- és lövedékenergia-tartomány felmérése céljából. Az 1 MeV-es  $\text{H}^+$ ,  $\text{He}^+$  és 650 keV-es  $\text{N}^+$  lövedékionokkal mért differenciális elektronemissziós hatáskeresztmetszetek elemzésével meghatározták a különböző ionizációs mechanizmusok abszolút hozamát és felmérték szerepüket a különböző ionlövedék-típusoknál. Megmutatták, hogy nitrogénion-bombázás esetén a többszörös ionizáció és többszörös elektronszórás folyamatok meghatározóvá válnak, és a molekulák erősen ionizált fragmentumokra esnek szét. A kapcsolódó elméleti munka során mind a klasszikus, mind a kvantummechanikai leírás szintjén jelentős eredményeket értek el a korábbi ion-atom ütközési modelleknek a molekuláris céltárgyakra történő kiterjesztésében.

Az Atomki kutatóit meghívták a BESSY II szinkrotronhoz (Berlin) egy általuk választott téma elektron-spektroszkópiai vizsgálatára. A He 1s és a Ne 2s fotoelektronok 3 dimenziós szögeloszlását határozták meg. Ez alapvető jelentőségű a fotoionizációs elméletek ellenőrzése

szempontjából. Megmérték továbbá a biológiai szempontból (DNS dozimetria) fontos tetrahidrofurán molekulában a C atomok K-fotoelektron emissziójának anizotrópiáját a fotonenergia függvényében. E mérésekben először határozták meg fotoelektronok teljes 3D szögeloszlását, így a folyamat szimmetriáit eddig egyedülálló módon, elméleti előfeltevésektől mentesen tanulmányozhatták.

Az infravörös tartományban ionizáció csak több, kis energiás foton elnyelése révén következhet be. Az MTA Wigner Lendület Ultragyors Nanooptika Kutatócsoporttal együttműködve Xe gázon mérték ilyen, sokfotonos ionizációval kiváltott fotoelektronok szögeloszlását. Az általuk épített, 3D szögeloszlás felvételére alkalmas elektronspektrométert az RMI-ben rendelkezésre álló femtoszekundumos lézer nyalábjára telepítették. Méréseik során több multifotonos ionizációs csúcsot azonosítottak. Vizsgálták a mért spektrumoknak a lézernyaláb paramétereitől való függését, és ezzel az intenzív terekben lejátszódó más folyamatokat is. Fundamentális jelentőségű méréseik az ELI-ALPS melletti munka előkészítését is szolgálják.

Olasz (INFN-LNS, Catania) együttműködésben vizsgálták az ECR ionforrás plazmája által kibocsájtott röntgensugárzás tulajdonságait. Az ionforrás paramétereitől (mágneses tér, RF teljesítmény, RF frekvencia) függő spektrális változásokat SSD és HPGe típusú detektorokkal mérték, a plazma szerkezeti változásait pedig speciális röntgen kamerával rögzítették. A nagy mennyiségű adat feldolgozását követően 2016-ban a térfogati emissziós mérések eredményeit, a technikai hátteret és az alkalmazott kísérleti eszközöket több folyóiratcikkben mutatták be. A munkát az EU Horizon 2020 program 654002 (ENSAR2-MIDAS) számú projektje is támogatta.

### *Felületfizika*

Grafitból preparált grafén-oxid mintákat redukáltak különböző redukáló ágensekkel és különböző hőmérsékleteken, mikrohullám alkalmazásával, az elemi és oxigén-csoport összetevők felületi koncentrációjának, valamint a réteges nanoszerkezetekben a grafén rétegek átlagos számának a meghatározására. Megállapították, hogy a különböző redukáló módszerek változó C/O és oxigén-csoport/(C sp<sup>2</sup> kötés) arányokat, továbbá átlagos grafén rétegszámot eredményeztek. A C sp<sup>2</sup>/sp<sup>3</sup> kötésarányra jellemző D paraméter meghatározására szén nanoanyagok elektronállapot-sűrűségeit tükröző röntgen-gerjesztésű C KLL Auger spektrumok analízisét végezték el. A C sp<sup>2</sup>/sp<sup>3</sup> kötésarányok, melyeket a különböző módon előállított szén nanoanyagok széles körére határoztak meg, általában egyeznek a C 1s fotoelektron-spektrumok alakjának illesztéséből kapott értékekkel. Azonosították a kísérletileg mért D paraméterek analíziséből kapott kötésarányok meghatározásának fő hibaforrásait is.

Fémfelületek Zn(Ti) védőréteggel való bevonása jól ismert eljárás korrózióvédelemre. A kutatás célja a korrózióvédelem hatékonyságának a növelése. Termodinamikai számolást végeztek a védőréteg belső szerkezetének a leírására és a rétegben lejátszódó fizikai/kémiai jelenségek pontos feltárására. A számolások eredményeit tömegspektrometriai és elektronspektroszkópiai analízis eredményeivel vetették össze. Meghatározták a védőrétegben kialakult kémiai állapotok rétegszerkezetét. Megállapították, hogy a teljes bevonati réteg vastagsága csökken a folyadékfürdő hőmérsékletével, de a tényleges korrózióvédelmet biztosító titán-dioxid réteg vastagsága nő. A bevonati réteg színét optikai interferencia határozza meg és nem a kémiai állapot.

Porlasztáson alapuló mélységprofil-analízissal nanométeres vastagságú rétegszerkezeteket vizsgáltak. Egyrészt különböző módszerek közötti összehasonlító méréseket végeztek a legjobb mélységi feloldás megvalósítására SiGe rendszerekben, másrészt kis energiás porlasztást kísérő részecskekiválás jelenségét vizsgálták PbTe kristályokon. A porlasztott felület morfológia vizsgálatából megállapították, hogy kis energiás porlasztás (<160 eV porlasztási energia) esetén a kiporlasztott részecskék nem távolodnak el a felülettől jelentős mértékben. Ez lehetőséget biztosít arra, hogy a Pb és Te részecskék ismét kiváljanak a felületre jellegzetes kristálystruktúra növekedés kíséretében.

### *Környezettudomány*

Környezetrégészeti módszerekkel vizsgálták a Dunaszekcsői lösz üledéksor rétegeinek korát faszén minták és 10 féle fajból származó kagyló/csigá maradványból, összesen 64 db AMS  $^{14}\text{C}$  mérést végezve. A faszén eredmények előkészítési módszertől függően szisztematikusan eltérő  $^{14}\text{C}$  kort mutattak. A korok eltérése az idősebb és kevésbé jó megtartású minták esetén egyre jelentősebb volt. Kimutatták, hogy bizonyos csigá/kagyló fajok esetében a faszénnel azonos  $^{14}\text{C}$  korok nyerhetők. Ezért ezen csigá/kagyló fajok kormeghatározási szempontból jó alanyai az üledékvizsgálatoknak az elmúlt akár 40 ezer év fejlődéstörténetéhez is.

Barlangi cseppkövek és egyéb karbonátkiválások utólagos átalakulásának folyamatait vizsgálták izotópanalitikai és környezetrégészeti módszerekkel. A változások detektálása és azok mértéke nagy jelentőséggel bír a klímakutatások szempontjából, ahol gyakran használják a múltból származó cseppkövekből nyerhető információkat. A tanulmány keretében fiatal cseppkövek kormeghatározását végezték el radiokarbonos módszerrel, laminaszámlálással kombinálva, felhasználva az 1960-as években mért légköri atombomba-csúcsot. Az eredmények alapvető jelentőségűek lehetnek a cseppkövek stabilizotóp-változásainak megértésében és azok klímarekonstrukciós felhasználása során.

Meghatározták a Kárpát-medence legfiatalabb vulkánja, a Csomád vulkán fiatalabb kráterében keletkezett Szent Anna-tó kormodelljét  $^{14}\text{C}$  módszerrel. Vizsgálataik célja feltérképezni a Szent Anna-tó tavi üledékében megőrződött környezeti változásokat a vulkánkitöréstől napjainkig. Ehhez alapvető fontosságú a tavi üledék korának ismerete, melynek meghatározására egy viszonylag új módszert vezettek be, a pollen alapú radiokarbon kormeghatározást. A vizsgálatok alapján a tavi üledékből az elmúlt mintegy 27 ezer év környezetváltozásai határozhatóak meg.

Magyarország két legnagyobb beszivárgási területe a Nyírség és a Duna-Tisza-közi Hátság. Ezeken a területeken sikerült több helyen is meghatározni, hogy mekkora a maradó beszivárgás mértéke. Sekély talajvíz  $^3\text{H}/^3\text{He}$  kormeghatározásával, a bombacsúcs helyzetét felhasználó korolással és modellszámításokkal kimutatták, hogy egyes beszivárgási területeken a lehulló csapadék 7-11 %-a az, amely a felszín alatti víz utánpótlását biztosítja. Ezek a módszerek az utóbbi néhány évtized viszonyaira engednek következtetni, ám a kutatók sikeresen alkalmaztak egy új megközelítést: homoktalaj esetén a pórusvíz közvetlenül a leszivárgó csapadékból áll. Kimutatták, hogy a háromfázisú zónában a víz csak 18-24 hónapot tölt el.

A Tisza hullámtéri holtágaiban felhalmozódott üledék megőrizte az árhullámok nyomait. Az üledékben lévő nehézfémek (Pb, Cu, Zn) koncentrációváltozásait korreláltatni lehetett a vízállás adatokkal. Ez alapján a meder feliszapolódására lehet következtetni. Az eredményeket  $^{137}\text{Cs}$  kronológiával erősítették meg. Az eredmények két szempontból fontosak:

(1) nyomon lehet követni az utolsó 100 év nagyobb nehézfémzennyezéseit; (2) meg lehetett határozni a holtmedrek feliszapolódásának mértékét. A Tisza élővilágát jelentősen befolyásoló nehézfémzennyezések rendszeresen előfordultak már az Osztrák-Magyar Monarchia idejében is. A feliszapolódás sebessége elérheti a 2-4 cm/évet, ezért számolni kell a hullámtéri medrek feltöltődésével, megszűnésével.

Újszerű mintavételi technikával vettek mintákat a Retyezát hegységben (Déli-Kárpátok, Románia) lévő hegyi tavakból. A tavi üledék szerves és szervetlen alkotói, növények maradványai viszonylag háborítatlanul megőrzik az elmúlt évezredek klíma- és környezetváltozásainak nyomait. A közel 8200 évvel ezelőtt bekövetkezett hirtelen lehűlés nyomát sikerült megtalálni a Taul dintre Brazi tó üledékében. A Taul dintre Brazi és a Lia tavak esetében sikerült rekonstruálni az erdőtüzek gyakoriságát, melyek jó része természetes okokra volt visszavezethető. Az erdőtüzeket követő talajeróziós folyamatokat az üledék szervesanyag- és hamutartalom-vizsgálata segítségével mutatták ki.

Esettanulmány keretében vizsgálták a levegő minőségét energiahatékony, passzívház-technológiával épült otthonokban és egy hagyományos technológiával épült házban. A várakozással ellentétben azt találták, hogy a passzív házakban a levegő minősége nem volt jobb, mint a hagyományos épületben. A szállópor-koncentráció átlagos értéke a passzív házakban magasabb volt. A 2,5  $\mu\text{m}$ -nél nagyobb részecskék sokkal nagyobb koncentrációban voltak jelen a passzív házakban. Ez arra utal, hogy az akkumuláció jelentős a zárt térben, és a szellőztető rendszer nem tudta ezeket részecskéket hatékonyan eltávolítani. Eszerint a külső levegő jó hatásfokú szűrése és a belső levegő tisztítása elsődleges fontosságú a passzívház-technológiával készült épületekben.

Az elemanalizátorral összekapcsolt stabilizotóp-arány tömegspektrométeres (EA-IRMS) mérés technikát adaptálták valós aeroszol minták teljes széntartalmának mérésére, oly módon, hogy ezzel egy időben a  $\text{d}^{13}\text{C}$  izotóparányukat is megmérték. A teljes széntartalom meghatározásra vonatkozóan összemérést végeztek egy off-line égetéses módszerrel. A széntartalom mérésével egy időben történő stabilizotóp-arány mérések  $\text{d}^{13}\text{C}$  eredményei igazolták, hogy nem volt mérhető izotópfractionálás. A kétféle módszerrel nyert eredmények rendkívül jól korrelálnak, így ezek biztonságosan alkalmazhatóak ismeretlen összetételű aeroszol minták teljes széntartalmának mérésére, mely nagyban segíti az aeroszolk széntartalmának automatizált, reprodukálható mérését.

A Püspökszilágyi Radioaktív Hulladék Feldolgozó és Tároló (RHFT) teljes kúthálózatára kiterjedő, a talajvizek szerves és összes széntől származó radiokarbon aktivitásának meghatározását, továbbá talaj-, illetve légköri minták méréseit végezték el. A kutatás legfontosabb eredményeként kimutatták, hogy a szerves frakció meghatározásán alapuló jelenlegi monitoring gyakorlatával a talajvíz teljes radiokarbon aktivitásának csak kevesebb, mint 30 %-a detektálható az RHFT egyes terheltebb kútjaiban. Megállapították, hogy az RHFT környezeti ellenőrzése során a pontosabb kibocsátás-ellenőrzés és dózisbecslés érdekében indokolt lenne a talajvíz teljes oldott széntartalmának radiokarbon koncentrációját mérni, nem csak a szerves frakciókét.

## **b) Tudomány és társadalom**

Az Atomki a 2016. év folyamán a következő rendezvényekkel érte el a nagyközönséget: *Kutatók Éjszakája*, *Science on Stage* magyarországi előválogató, *Fizikusnapok* és látogatócsoportok fogadása.



A Kutatók Éjszakája (2016. 09. 30.) alkalmával az Atomkiben folyó kutatásokkal ismerkedhettek meg az érdeklődők „A múltban is voltak izotópok? - Paleohőmérsékleti rekonstrukció izotópokkal” című előadás keretében. A múlt folyamatait geológiai lenyomatok tanulmányozásával érthetjük meg. Ennek egyik módja a lenyomatban lévő izotópok, elemek, nyomelemek pontos koncentrációjának vagy pontos arányának meghatározásában rejlik. Az előadás több példán keresztül bemutatta a korlási lehetőségeket, valamint a múltbeli hőmérséklet rekonstrukciójára vonatkozó módszereket. A közönség létszáma 88 fő volt.

A *Science on Stage* magyarországi előválogatója (2016. 10. 7-9.) Debrecenben az Atomki társrendezésében valósult meg. A rendezvény a nemzetközi *Science on Stage* fesztivál előkészítéseként, a szervezőknek tapasztalatgyűjtésként is szolgált, mert 2017-ben Debrecen rendezi meg a nemzetközi versenyt. A rendezvény célja, hogy a természettudományok, a matematika és informatika területén oktató általános és középiskolai tanárok megoszthassák egymással legjobb tanítási ötleteiket. A nagyközönség érdeklődésére is számot tartó esemény ezen tudományok népszerűsítésére törekszik. A hazai válogatón csaknem 100 pályázó mutatta be pályaművét, közülük 40 vehet részt a nemzetközi versenyen.

A *Fizikusnapokat* 37. alkalommal rendezte meg az Atomki (2016. 11. 21-25.), ezúttal a sötét anyag és sötét energia jegyében. Négy napon keresztül hangzottak el előadások ebben a témában, melyre általános iskolástól nyugdíjas korúig jöttek érdeklődők, összesen 392 fő. A hét folyamán a délelőtti órákban csoportok érkeztek összesen 21 iskolából, Debrecenből és egészen távoli településekről, hogy a meghirdetett 24-féle rendhagyó óra valamelyikét meghallgassák; 57 rendhagyó óra hangzott el, melyen összesen 1715 látogatóórát töltöttek az intézetben. Utolsó este az Atomki látogatóközpontja nyílt meg az egyéni érdeklődők előtt, akik a radioaktivitásról szerezhettek alapvető ismereteket; a létszám 14 fő volt. Az egyhetes esemény révén az intézet részt vett a *Magyar Tudomány Ünnepe* keretében futó *Kutatóhelyek Tárt Kapukkal* programban.

Fentiekén kívül az év során 18 csoportban 346 fő érkezett az intézetbe (általános és középiskolások, egyetemisták, felnőtt érdeklődők) és összesen 763 látogatóórát töltöttek el. A program összeállítása a csoportok ismeretszintjének figyelembe vételével történik, és kísérletekkel tarkított előadásokat és intézeti laborlátogatásokat tartalmaz. A látogatóközpontban a radioaktív sugárzás tulajdonságaival és kimutatásával, a hidegfizikai bemutató alkalmával pedig az alacsony hőmérsékleten lejátszódó jelenségekkel ismerkednek az érdeklődők.

Az Atomki ismeretterjesztő tevékenységének elsődleges közönsége az iskolások és az érdeklődő laikus felnőttek csoportja, de az intézet minden lehetőséget megragad további közönség bevonására is. Ilyen lehetőség adódott 2016. június 5-én, amikor az Atomki az MKB Professzori Klub jubileumi rendezvényének vendégeként egész napos programot biztosított az egyik helyszínen. A közönség ismeretterjesztő előadások és kísérleti bemutatók mellett a tudományhoz köthető zenei és színpadi produkciókat is élvezhetett, illetve meghallgathatott egy beszélgetést a tudományos ismeretterjesztés nem szokványos módszereiről is.

Az Atomki weblapján keresztül megtekinthetők az intézet kutatói által írt ismeretterjesztő cikkek. Ezekből 2016-ban összesen 4 jelent meg a *Fizikai Szemle*, a *Debreceni Szemle* és a *Magyar Tudomány* oldalain.

A *Kutatók Éjszakája* és a *Fizikusnapok* ismeretterjesztő előadásairól készült felvételek elérhetők a legnépszerűbb fájlmegosztó portálon. A visszajelzések alapján a tanárok főleg az Atomki *Utazó Fizika* programja keretében néhány évvel ezelőtt létrehozott négy előadást tudják hasznosítani a tanórákon, amelyek címe *Víz, Földünk természetes védelmi rendszerei, Hideg-meleg, illetve Energia*.

2016 során 375 hazai média-megjelenésben szerepeltek az Atomki és munkatársai. Ebből több mint száz megjelenés a sötét anyaggal kapcsolatba hozható kísérleti eredményről szóló hírnek volt köszönhető. További két népszerű téma volt a gravitációs hullámok felfedezése és a nukleáris asztrofizikában elért eredmények, melyeket nemzetközi együttműködések tagjaiként jegyez az Atomki.

### **III. A kutatóhely hazai és nemzetközi K+F kapcsolatai 2016-ban**

Az intézet együttműködésben folytatott kutatásai hagyományosan egyrészt a nagy nemzetközi kollaborációk (pl. CERN-CMS, LIGO-EGRG, LUNA, stb.) keretében valósulnak meg, másrészt pedig különféle szintű kétoldalú kapcsolatokon alapszanak. Az utóbbiak köre 2016-ban elsősorban a környező országok partner akadémiáival kötött megállapodásokkal bővült (Lengyelország, Csehország, Szlovákia), de új megállapodások születtek távoli kontinensek egyetemeivel és más intézményeivel is (Japán, Kína, Irán, Mexikó, Egyiptom). Európán belül együttműködés kezdődik az INFN Frascati (Olaszország) laboratóriummal, illetve a Bukarestben épülő Extreme Light Infrastructure – Nuclear Physics (ELI-NP) kutatóintézettel is. Az ELI tagintézményei közül a szegedi Extreme Light Infrastructure – Attosecond Light Pulse Source (ELI-ALPS) esetében is évről évre bővülnek az Atomki kapcsolatai. A Nagyváradai Egyetemmel kötött megállapodás értelmében romániai diákok és tanárok jöhetnek az Atomkibe szakmai gyakorlatra Erasmus program keretében.

Új hazai együttműködések elsősorban a nagy kutatóegyetemekkel alakított ki az intézet (Debreceni Egyetem, ELTE, Szegedi Egyetem, Pécsi Egyetem). Az akadémiai szférában hagyományosan a Wigner Fizikai Kutatóközponttal a legszorosabbak az Atomki kapcsolatai, de külön figyelmet érdemel, hogy több Lendület kutatócsoport is az új partnerek között említhető. A vállalati szférából továbbra is az MVM Paksi Atomerőmű Zrt. a legjelentősebb együttműködő.

2016-ban az Atomki három nemzetközi műhelytalálkozónak adott otthont, de az intézet kutatói számos további tudományos rendezvény szervezésébe is bekapcsolódtak. Ezek között megemlítendő az Atomki által is szponzorált, Budapesten rendezett *EPS Young Minds Leadership Meeting*, amely az Európai Fizikai Társaság egyik projektje keretében adott lehetőséget arra, hogy fiatal fizikusok szervezeteinek vezetői osszák meg tapasztalataikat egymással.

Az Atomki Külső Tanácsadó Testülete 2016. november 7-én tartotta ülését az intézetben, ahol egyebek mellett az új mátrix szervezeti struktúra kialakításáról kapott tájékoztatást.

A felsőoktatásban való részvétel 2016-ban is fontos szerepet töltött be az intézet kutatóinak tevékenységében. Az Atomki munkatársai 58 elméleti és 37 gyakorlati kurzust hirdettek meg. A beszámolási időszak folyamán 18 PhD, 19 Msc, 27 BSc és 9 TDK-hallgató dolgozott az intézetben. Az intézetben folytatódott a kutatóhallgatói ösztöndíjas program, amelynek keretében egyetemisták vállalnak részt a kutatómunkában. A tavaszi és az őszi félévben is 7

ösztöndíjas vett rész ebben a programban. Doktori képzésben 49 Atomki kutató volt érdekelt, köztük heten doktori iskolai törzstagként. Közülük öt a Debreceni Egyetem fizikai, kettő pedig az informatikai doktori iskolájának törzstagja.

#### **IV. A 2016-ban elnyert fontosabb hazai és nemzetközi pályázatok rövid bemutatása**

Az elkövetkező évek során az Atomki több kutatási irányára meghatározó hatása lesz a 2016-ban elnyert hat GINOP pályázatnak. Ezek mellett két NKFIH (OTKA) és négy nemzetközi projekt indult az elmúlt évben.

*IKER: Recens és paleo környezetgeokémiai kutatás-fejlesztési irányok megerősítése*, GINOP-2.3.2-15-2016-00009, 48 hónap, 1966 141 E Ft

*Világszínvonalú kutatói környezet kialakítása az Atomki új Tandetron laboratóriumában*, GINOP-2.3.3-15-2016-00009, 36 hónap, 941 251 E Ft

*Regionális Anyagtudományi Kiválósági Műhely-kutatási program és infrastruktúra*, GINOP-2.3.2-15-2016-00041, 36 hónap, 279 278 E Ft

*Egzotikus magfolyamatok kutatása itthon és ESFRI roadmap intézetekben*, GINOP-2-3.3-15-2016-00034, 36 hónap, 568 779 E Ft

*Újszerű ipari integrált irányítási szoftver keretrendszer kutatása és alkalmazása kísérleti fizikai nagyberendezésekre*, GINOP-2.2.1-15-2016-00012, 36 hónap, 185 500 E Ft

*Az MTA Atomki Örökségtudományi Laboratóriumának kiépítése - felkészülés az E-RIHS szerepre*, GINOP-2.3.3-15-2016-00029, 36 hónap, 421866 E Ft

*Ionnyalábok az anyagmódosításban és a mikro- és nanomegmunkálásban*, OTKA PD-121076, 36 hónap, 15 087 E Ft

*Nagypontosságú nukleáris asztrofizikai mérések*, OTKA K 121666, 48 hónap, 48 000 E Ft

*CRP on Nuclear Data for Charged-particle Monitor Reactions and Medical Isotope Production*, IAEA projekt, 17438/RO, 12 hónap, 4000 EUR

*Use of Long-lived Radionuclides for Dating Very Old Groundwaters*, IAEA projekt, 20533, 36 hónap, 18 000 EUR

*Nuclear Data for Accelerator Production of  $^{67}\text{Cu}$ ,  $^{186}\text{Re}$  and  $^{47}\text{Sc}$* , IAEA projekt 3, 20584, 60 hónap, 20 000 EUR

*European Nuclear Science and Application Research 2 — ENSAR2*, ENSAR projekt, 654002, 48 hónap, 47 500 EUR

#### **V. A 2016-ban megjelent jelentősebb tudományos publikációk**

1. Nagy S, Vértési T: EPR Steering inequalities with Communication Assistance. Scientific Reports, 6: 21634 (2016) <http://dx.doi.org/10.1038/srep21634>
2. Diviánszky P, Trencsényi R, Bene E, Vértési T: Bounding the persistency of the nonlocality of W states. Physical Review A, 93: 042113 (2016) <https://arxiv.org/abs/1605.05846>

3. Cseh J, Riczu G: Quartet excitations and cluster spectra in light nuclei. *Physics Letters B*, 757: 312-316 (2016) <http://dx.doi.org/10.1016/j.physletb.2016.03.080>
4. Pál G, Jánosi Z, Kun F, Main I G: Fragmentation and shear band formation by slow compression of brittle porous media. *Physical Review E - Statistical, Nonlinear and Soft Matter Physics*, 94: 053003 (2016) <http://real.mtak.hu/28024/>
5. Borsanyi S, Fodor Z, Guenther J, Kampert K-H, Katz S D, Kovacs T G et al. (13): Calculation of the axion mass based on high-temperature lattice quantum chromodynamics. *Nature*, 539: 69-71 (2016) <https://arxiv.org/abs/1606.07494>
6. Giordano M, Kovács T G, Pittler F: An Anderson-like model of the QCD chiral transition. *Journal of High Energy Physics*, 2016: (6) 07 (2016) [http://dx.doi.org/10.1007/JHEP06\(2016\)007](http://dx.doi.org/10.1007/JHEP06(2016)007)
7. Krasznahorkay A, Csatlós M, Csige L, Gácsi Z, Gulyás J, Hunyadi M, et al. (14): Observation of Anomalous Internal Pair Creation in  $^8\text{Be}$ : A Possible Indication of a Light, Neutral Boson. *Physical Review Letters*, 116: 042501 (2016) <https://arxiv.org/abs/1504.01527>
8. Podolyák Z, Shand C M, Lalović N, Gerl J, Rudolph D, Dombrádi Zs, et al. (64): Role of the  $\Delta$  Resonance in the Population of a Four-Nucleon State in the  $^{56}\text{Fe} \rightarrow ^{54}\text{Fe}$  Reaction at Relativistic Energies. *Physical Review Letters*, 117: 222302 (2016) [http://epubs.surrey.ac.uk/813076/1/54fe\\_isomer\\_resubmitted\\_14sept2016.pdf](http://epubs.surrey.ac.uk/813076/1/54fe_isomer_resubmitted_14sept2016.pdf)
9. Liu C, Wang S Y, Bark R A, Zhang S Q, Meng J, Qi B, Nyakó B M, et al. (47): Evidence for Octupole Correlations in Multiple Chiral Doublet Bands. *Physical Review Letters*, 116: 112501 (2016) <http://real.mtak.hu/44699/>
10. Bruno C G, Elekes Z, Fülöp Zs, Gyürky Gy, Somorjai E, Szücs T, et al. (35): Improved Direct Measurement of the 64.5 keV Resonance Strength in the  $^{17}\text{O}(\text{p},\alpha)^{14}\text{N}$  Reaction at LUNA. *Physical Review Letters*, 117: 142502 (2016) <https://arxiv.org/abs/1610.00483>
11. Halász Z, Somorjai E, Gyürky Gy, Elekes Z, Fülöp Zs, Szücs T, Kiss G G, (10): Experimental study of the astrophysical  $\gamma$ -process reaction  $\text{Xe } 124(\alpha,\gamma)\text{Ba } 128$ . *Physical Review C*, 94: 045801 (2016) <http://real.mtak.hu/46882/>
12. Ornelas A, Gyürky Gy, Elekes Z, Fülöp Zs, Halász Z, Kiss G G, et al. (15):  $\alpha$  scattering and  $\alpha$ -induced reaction cross sections of Zn 64 at low energies. *Physical Review C*, 94: 055807 (2016) <http://real.mtak.hu/46884/>
13. Csedreki L, Halász Z, Kiss Á Z: Assessment of experimental d-PIGE  $\gamma$ -ray production cross sections for  $^{12}\text{C}$ ,  $^{14}\text{N}$  and  $^{16}\text{O}$  and comparison with absolute thick target yields. *Nuclear Instruments & Methods in Physics Research Section B-Beam Interactions with Materials and Atoms*, 380: 1-10 (2016) <http://real.mtak.hu/46887/>
14. Rajta I, Huszánk R, Szabó A T T, Nagy G U L, Szilasi S, Fürjes P, et al. (13): Tilted pillar array fabrication by the combination of proton beam writing and soft lithography for microfluidic cell capture: Part 1 Design and feasibility. *Electrophoresis*, 37: (3) 498-503 (2016) <http://real.mtak.hu/32039/>

15. Szikszai Z, Angyal A, Csedreki L, Furu E, Huszánk R, Kertész Zs, et al. (13): Trans-National Access in the field of heritage science at the Laboratory of Ion Beam Applications, MTA Atomki. *Techne: Research in Philosophy and Technology*, 43: 59 (2016) <http://real.mtak.hu/28008/>
16. Ditrói F, Tárkányi F, Takács S, Hermanne A: Activation cross-sections of proton induced reactions on vanadium in the 37–65 MeV energy range. *Nuclear Instruments & Methods in Physics Research Section B-Beam Interactions with Materials and Atoms*, 381: 16-28 (2016) <https://arxiv.org/abs/1610.03954>
17. Ditrói F, Tárkányi Z: Thermodynamic model for electron emission and negative- and positive-ion formation in keV molecular collisions. *Physical Review A*, 94: 022707 (2016) <https://arxiv.org/abs/1608.05303>
18. Kovács S T S, Herczku P, Juhász Z, Sarkadi L, Gulyás L, Sulik B: Ionization of small molecules induced by H<sup>+</sup>, H e<sup>+</sup>, and N<sup>+</sup> projectiles: Comparison of experiment with quantum and classical calculations. *Physical Review A*, 94: 012704 (2016) <http://real.mtak.hu/31853/>
19. Loreti A, Kadokura R, Fayer S E, Kövér A, Laricchia G: High-Resolution Measurements of e<sup>+</sup> + H<sub>2</sub>O Total Cross Section. *Physical Review Letters*, 117: 253401 (2016) <http://real.mtak.hu/44700/>
20. Sarkadi L, Fabre I, Navarrete F, Barrachina R O: Loss of wave-packet coherence in ion-atom collisions. *Physical Review A*, 93: 032702 (2016) <http://real.mtak.hu/43934/>
21. Sarkadi L, Nagy D: Forward electron emission in collisions of He<sup>2+</sup> ions with Ar atoms with simultaneous capture of two electrons. *Physical Review A*, 94: 042709 (2016) <http://real.mtak.hu/43932/>
22. Tőkési K, Varga D: Energy distribution of elastically scattered electrons from double layer samples. *Nuclear Instruments & Methods in Physics Research Section B-Beam Interactions with Materials and Atoms*, 369: 109-121 (2016) <http://real.mtak.hu/28025/>
23. Lévai G, Godzsak M, Hakl J, Takats V, Csik A, Vad K, et al. (8): Designing the color of hot-dip galvanized steel sheet through destructive light interference using a Zn-Ti liquid metallic bath. *Metallurgical and Materials Transactions A-Physical Metallurgy and Materials Science*, 47A: (7) 3580-3596 (2016) <https://arxiv.org/abs/1701.01616>
24. Zayachuk D M, Slynko E I, Slynko V E, Csik A: Oscillations and huge preferences of PbTe crystal surface sputtering under Secondary Neutral Mass Spectrometry conditions. *Materials Letters*, 173: 167-169 (2016) <https://arxiv.org/abs/1701.01597>
25. Shvetsov-Shilovski N I, Lein M, Madsen L B, Räsänen E, Lemell C, Tokési K et al. (8): Semiclassical two-step model for strong-field ionization. *Physical Review A*, 94: 013415 (2016) <https://arxiv.org/abs/1604.05123>
26. Újvári G, Molnár M, Páll-Gergely B: Charcoal and mollusc shell <sup>14</sup>C-dating of the Dunaszekcso loess record, Hungary. *Quaternary Geochronology*, 35: 43-53 (2016) <http://real.mtak.hu/40865/>

27. Karátson D, Wulf S, Veres D, Magyari E K, Gertisser R, Hubay K, et al. (15): The latest explosive eruptions of Ciomadul (Csomád) volcano, East Carpathians: a tephrostratigraphic approach for the 51–29 ka BP time interval. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 319: 29-51 (2016) <http://real.mtak.hu/47599/>
28. Pál I, Magyari E K, Braun M, Vincze I, Pálffy J, Molnár M, et al. (8): Small-scale moisture availability increase during the 8.2-ka climatic event inferred from biotic proxy records in the South Carpathians (SE Romania). *Holocene*, 26: (9) 1382-1396 (2016) <http://real.mtak.hu/46162/>
29. Simon E, Harangi S, Baranyai E, Braun M, Fábrián I, Mizser Sz, et al. (8): Distribution of toxic elements between biotic and abiotic components of terrestrial ecosystem along an urbanization gradient: Soil, leaf litter and ground beetles. *Ecological Indicators*, 60: 258-264 (2016) <http://real.mtak.hu/28026/>
30. Janovics R, Kelemen D I, Kern Z, Kapitány S, Veres M, Jull A J T, Molnár M: Radiocarbon signal of a low and intermediate level radioactive waste disposal facility in nearby trees. *Journal of Environmental Radioactivity*, 153: 10-14 (2016) <http://real.mtak.hu/28013/>