

## 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 2017-ben

Az intézet fő feladata az atomfizikai, magfizikai, nukleáris asztrofizikai és részecskefizikai alapkutatások területén a nemzetközi kollaborációkkal összehangolt élvonalbeli kutatások végzése volt a nagy nemzetközi kutatóközpontok és a saját kutatási infrastruktúra kiegyensúlyozott használatával. A korábbi évekhez képest új adminisztratív és technikai feladatot jelentett a 2016-ban elnyert GINOP pályázatok zökkenőmentes beindítása. Ehhez kapcsolódóan az infrastrukturális fejlesztések között kiemelt jelentőségű volt a Klímakutatási és Környezetfizikai Laboratóriumnak otthont adó épület átalakításának megkezdése. Az Atomki 2017-ben is jelentős szerepet vállalt az egyetemi oktatásban, a PhD képzésben, a nemzetközi szakemberképzésben és a tudomány népszerűsítésében.

### II. A 2017-ben elért kiemelkedő kutatási és más jellegű eredmények

#### II. a) Kiemelkedő kutatási eredmények

##### *Elméleti fizika*

Kétrészű nem-lokális pozitív parciálisan tranzponált (PPT) állapotokat és ilyen típusú állapotokkal sérthető Bell-egyenlőtlenség családot találtak tetszőleges  $D$ -dimenziós ( $D > 2$ ) komponens terekben. A sejtés az, hogy  $D$ -nél kisebb komponens terekben a Bell-egyenlőtlenség család  $D$ . tagja nem sérthető. Ezen sejtést az elvégzett numerikus számolások alátámasztják  $D < 9$  dimenzió esetén. Szeparábilis állapotok, amelyek egyben PPT-állapotok is, nem sérthetnek Bell-egyenlőtlenségeket. A nem szeparábilis, PPT-állapotokat kötötten összefont állapotoknak nevezzük. Ennek megfelelően olyan tanúkat találtak amelyek  $D$ -dimenziós kötötten összefont állapotokat detektálnak eszközfüggetlen módon.

Coulomb-kölcsönhatás esetén a hullámfüggvény sajátos viselkedést mutat a konfigurációs tér azon pontjaiban, ahol két vagy három részecske térkoordinátája egybeesik. A hullámfüggvény viselkedését az ún. Kato-féle cusp (KC) egyenletek írják le. Kételektronos atomokat Hylleraas- vagy Kinoshita-bázisfüggvények segítségével írták le és vizsgálták a KC egyenletek teljesülését. Megadták, hogy a KC egyenletek teljesülése hogyan szűkíti le az alkalmazható bázisfüggvényeket. A korrekt módon kiválasztott bázisfüggvények szuperpozícióját megadó együtthatók sem tetszőlegesek. Az ezekre vonatkozó egyenleteket pontosították és a KC egyenleteknek eleget tevő próbafüggvényeket adtak meg. Eredményeik szerint fotoionizációs folyamatban a KC egyenletek teljesülése javítja a leírás hatékonyságát.

Vékonyrétegek száradás, megszilárdulás közben repedeznek, ami a tönkremenetelüket eredményezheti, de a repedési mintázat kontrollja újszerű alkalmazási lehetőségeket adhat. Diszkrétélem-moddal vizsgálták, hogy a rétegben a rendezetlenség mennyiségét változtatva hogyan kontrollálható a zsugorodás által okozott repedési mintázat. Megmutatták, hogy kis rendezetlenség esetén egy celluláris repedési mintázat jön létre, amelyben az anyagdarabok méreteloszlása log-normális lesz. Növelve a mikroszkopikus rendezetlenséget átmenet jön létre egy perkolációs fázisba, ahol repedések véletlen nukleációja és összeolvadása dominál hatványfüggvény méreteloszlást eredményezve. Kimutatták, hogy a rendezetlenség

kontrolljával irányítani lehet a repedezést, amit mikroelektronikai alkalmazásokban ki lehet aknázni.

Kísérletileg igazolták az Atomkiben korábban sokcsatornás dinamikai szimmetria (MUSY) jóslatát. E szimmetria az atommag különböző konfigurációinak energiaspektrumát kapcsolja össze. Például: héjmodell-, vagy kvartettállapotok, törzs+alfa és egzotikus klaszterállapotok spektrumát. Egy rugalmatlan alfa-szórás kísérletben a  $^{28}\text{Si}$  atommag magasan fekvő  $0^+$  spin-paritású alfa-klaszter állapotait keresték meg. Ezt a spektrumot a MUSY képes részletesen megjósolni a mag kisenergiás spektrumának kvartettmodell-leírása alapján. Az elméleti előrejelzést a kísérleti eredmények nagy pontossággal igazolták. További alátámasztását adja a szimmetria prediktív erejének, hogy az a nagyenergiás  $^{12}\text{C}+^{16}\text{O}$  spektrumot is megjósolta a kísérleti adatokkal jó egyezésben.

Egzaktul megoldható komplex potenciálok esetében vizsgálták, hogy a képzetes komponensük csatolási állandójának változtatásával a nívóik hogyan keresztezik egymást. Valós potenciálokkal szemben ez előfordulhat PT-szimmetrikus (a szimultán térbeli és időbeli tükrözésre nézve invariáns) potenciálok eltérő  $n$  (nóduszám) és  $q$  (kvázi-paritás) kvantumszámú nívóira. Az irodalomban a Scarf II potenciál példáján nemrégiben kimutatták, hogy ilyenkor a két energia-sajátfüggvény elveszíti lineáris függetlenségét. Most bebizonyították, hogy ez a jelenség általános a Natanzon-osztályú potenciálokra, amit három konkrét példával illusztráltak is.

### *Részecskefizika*

A részecskegyorsítóknál létrehozott nehézion ütközésekben a nagysebességű ionok erős mágneses teret keltenek, ami befolyásolhatja az ütközés során létrejövő átmenetet a hadronikus fázisból a kvark-gluon plazmába. A mágneses tér kvark-gluon plazmára való hatását leggyakrabban a kvantum-színdinamika közelítéseként előálló alacsonyenergiás effektív elméletek keretein belül szokták vizsgálni, és a kvarkállapotokat a mágneses térben mozgó szabad töltés Landau-szintjei segítségével írják le, gyakran csak a legalacsonyabb Landau-szinten figyelembe véve. Kutatásukban azt vizsgálták rács-szimulációk segítségével, hogy ez a közelítés mennyire helytálló. Megállapították, hogy kvarkok esetén csak a legalacsonyabb Landau szint különíthető el egyértelműen, és meghatározták ennek a különböző fizikai mennyiségekhez adott járulékat.

Vizsgálták a lokalizációs átmenetet az SU(3) mértékelméletben. Ismeretes, hogy az erősen kölcsönható anyag hadronikus állapotból kvark-gluon plazmába történő átalakulását az Anderson átmenethez hasonló lokalizációs átmenet kíséri. Míg a lokalizációs átmenet élesen meghatározott kritikus hőmérséklettel rendelkezik, a kvark-gluon plazmába történő átmenetről ez csak akkor lenne elmondható, ha a kvarktömegek a valóságosnál lényegesen nagyobbak lennének. Egy ilyen modellben meghatározták a lokalizációs átmenet kritikus hőmérsékletét és megállapították, hogy az pontosan megegyezik a kvark-gluon plazmába való átmenetnek az irodalomból ismert kritikus hőmérsékletével. Ez az eredmény hozzájárul a lokalizációs és a kvark-gluon plazmába való átmenet kapcsolatának jobb megértéséhez.

Az O(2) szimmetrikus, illetve a sine-Gordon periodikus skalártérelméletek, továbbá az XY klasszikus spinmodell és a Coulomb-gáz egymásra leképezhetők és azonos univerzalitási osztályba sorolhatók. Az O(2) modell és a sine-Gordon elmélet csak közelítéssel képezhető egymásra, de az amplitúdó fluktuációkat is figyelembe véve egzaktá tehető, azonban az így

kapott sine-Gordon modell a szokásostól eltérő alakú lesz. Az  $O(2)$  modell legújabb vizsgálata azt mutatta, hogy az amplitúdó fluktuációk módosíthatják a fázisszerkezetet, ami ellentétben áll számos kísérleti eredménnyel. Az fRG módszer segítségével megvizsgálták az  $O(2)$  modell fázisait annak sine-Gordon reprezentációját használva és tisztázták az amplitúdó fluktuációk szerepét.

A CMS müondetektorok helyzetmeghatározásával kapcsolatos alaptervekenység mellett végezték a GE1/1 müondetektorok pozíciójának mérésével kapcsolatos munkát, illetve az új fejlesztésű strip detektorok helyzetének lokalizálását az egyes komponensek koordináta-rendszerében. Emellett folytatták a CERN EP-DT csoportjával közös kutatási együttműködés keretében vizsgált LPG-alapú száloptikai érzékelők tesztjét. A korábbi évek során gyűjtött tapasztalatok alapján végzett kísérleti munka célja ezúttal az LPG-alapú érzékelőkben a besugárzásokat követően jelentkező hibajavító mechanizmusok fizikai hátterének megértése volt.

Külföldi nagyberendezésekhez fejlesztettek ki és szállítottak le komponenseket: A Brookhaven National Laboratory (Phenix) munkatársaival együttműködve kifejlesztették az ECAL kiolvasó rendszerének felújításához a tervezett SiPM-alapú szenzorok kalibrációs módszerét, valamint kifejlesztették és legyártották a kalibrációhoz szükséges többcsatornás elektronikus rendszert. Az ESS-ERIC projekt keretében kifejlesztették és leszállították az RF-LPS interlock rendszer SIM egységét. Megvalósult az RF-rendszer technikai egységeinek jeleit átalakító SCB prototípusa, annak parametrikus és rendszerintegrációs tesztje.

### *Magfizikai alap kutatás*

A korábbi, jelentős érdeklődést kiváltó, sötét anyaggal kapcsolatos kísérleti eredményeik ellenőrzésére és pontosítására az elektron-pozitron spektrométerüket átköltöztették az Atomki új Tandetron gyorsító laboratóriumába. Modern szilícium helyzetérzékeny (DSSD, Double Sided Silicon strip Detector) detektorokra cserélték ki a szögmérésre használt gáztöltésű detektorokat. Az adatgyűjtő rendszerüket is jelentősen modernizálták. Megismételték a korábbi méréseiket, és sikerült reprodukálniuk a  ${}^8\text{Be}$  18,15 MeV-es átmenetben megfigyelt anomáliát, és pontosítani az új részecske tömegét.

Sikeresen alkalmaztak egy új, inverz kinematikával működő módszert a  ${}^{58}\text{Ni}$  atommag sugarának (anyagsugarának) meghatározására. A kísérleteket a darmstadti GSI-ben a kísérleti nehézion tároló-gyűrű segítségével végezték. A He atommagokon mért rugalmas szögeloszlásokat sűrűségfüggő optikaimodell-potenciálok felhasználásával, az eikonál közelítés segítségével számították ki, majd illesztették a kísérleti eredményekhez. Ez az úttörő kísérlet azt demonstrálja, hogy ezzel a módszerrel igazi áttörést lehet majd elérni a stabilitási sávtól távoli radioaktív atommagok anyageloszlásának vizsgálatában.

A klasszikus folyadéksepp-modell szerint az erősen lecsökkent központi sűrűség az atommagokban nem fordulhat elő. Az atommagok másik alapvető modellje, a héjmodell szerint, ha a központi térfogatban elhelyezkedő  $s_{1/2}$  nukleonpályák nincsenek betöltve, míg a külső területeken elhelyezkedők igen, buborékszerű szerkezet alakulhat ki. Az Atomki kutatói, nemzetközi együttműködésben, radioaktív nyalábos kísérletben a neutrontöbbletes  ${}^{34}\text{Si}$  atommagról bizonyították be, hogy a protoneloszlása buborékszerkezetet mutat, míg a neutronsűrűsége egyenletes.

A héjmodell szerint az atommagban a nukleonok energiaszinteken, pályákon helyezkednek el, a pályák héjakra csoportosulnak. A teljesen betöltött héjakkal rendelkező „mágikus” atommagok különösen stabilak. Az Atomki munkatársai nemzetközi együttműködésben a  $^{79}\text{Cu}$  atommag szerkezetét vizsgálva kimutatták, hogy annak közvetlen szomszédja, az erősen neutron többletes  $^{78}\text{Ni}$  zárt proton- és neutronhéjjal rendelkezik. Így ez az egyik neutronban leggazdagabb kétszeresen mágikus atommag.

Részt vettek az AGATA (Advanced GAMMA Tracking Array)  $\gamma$ -spektrométer üzembe helyezésében a franciaországi Caen-ben működő GANIL intézetben. A ciklotron-gyorsító komplexum által szolgáltatott stabil és radioaktív nehézion nyalábokat használták egzotikus atommagok in-beam  $\gamma$ -spektroszkópiai vizsgálatára. A több segéddetektor által is használt NUMEXO2 digitális jelfeldolgozó Atomki-beli firmware-fejlesztése a DIAMANT töltött részecske-detektort a 2018-as mérési kampányban használandó detektorrendszer (AGATA+DIAMANT+NEDA) integrális részévé tette.

A GANIL-ban az AGATA  $\gamma$ -detektorrendszerrel végrehajtott kísérlet során az Atomki munkatársai, nemzetközi együttműködésben, az  $N=60$  neutronsám körüli deformációs szigetet vizsgálva először azonosították a neutron többletes  $^{96}\text{Kr}$  atommag második  $4^+$  gerjesztett állapotát. A  $^{96}\text{Kr}$  második  $4^+$  és első  $2^+$  állapotának energiaaránya megerősíti, hogy ezt a deformációs szigetet a protonszámában a Kr izotópok határolják alulról. Viszont a kapott alacsony érték erős deformáció kialakulását jelzi a  $^{96}\text{Kr}$ -ban, ellentmondásban a kriptonokban korábban észlelt eredményekkel.

A  $^{17}\text{O}(p,\gamma)^{18}\text{F}$  reakció a csillagfejlődés számos különböző szakaszában játszik kulcsszerepet a hidrogénégési folyamatokban. Az Atomki új Tandetron gyorsítóján végzett első, sikeresen lezárult, tudományos projekt keretében ennek a reakciónak a hatáskeresztmetszetét mérték széles energiatartományban. A méréseket az asztrofizikailag lényeges teljes hatáskeresztmetszetet közvetlenül szolgáltató aktivációs technikával végezték. Ezt a módszert korábban nem alkalmazták a vizsgált energiatartományban. A mérési eredmények, illetve R-mátrix analízis alapján független megerősítést adták az alacsonyenergiás rezonanciák tartományában mért adatoknak, illetve az irodalminál kisebb direkt befogási hatáskeresztmetszetet javasoltak.

A nehéz, protongazdag izotópok szintéziséért felelős asztrofizikai  $\gamma$ -folyamat modellezéséhez szükséges magfizikai bemenő adatokat vizsgálták Ir izotópokon  $\square$ -befogási reakciók hatáskeresztmetszetének mérésével. A kísérleteket egy eddig nem alkalmazott módszerrel, röntgendetektálással kombinált vastagcélanyag-hozam méréssel végezték, mellyel lehetővé vált e korábban nem vizsgált izotópok tanulmányozása is. A mért adatokat összevetették modellszámítások előrejelzéseivel, és azt találták, hogy az alfa-mag optikai potenciál korábban javasolt módosításával a kísérleti eredmények jól reprodukálhatók.

A  $^{17}\text{O}(p,\alpha)^{14}\text{N}$  reakció vizsgálatával a LUNA együttműködés előzőleg bebizonyította, hogy bizonyos csillagokban ennek a reakciónak a sebessége mintegy kétszerese a korábban feltételezettnek. E kísérleti eredmények alapján sikerült feloldani a nehéz oxigén izotópok asztrofizikai eredetének rejtélyét. Bebizonyították, hogy 4-8 naptömegű csillagokból származnak a naprendszerben talált egyes meteoritszemcsék, így ezek a csillagok hozzájárultak a naprendszert létrehozó anyag kialakulásához.

## *Magfizikai alkalmazások*

Bizonyos folyadék fázisú minták elemösszetételének ismerete igen fontos tudományos és ipari szempontból (biológiai minták, ásványolaj, stb.). Viszont sok esetben a mintapreparáció komplikált e mintáknál, vagy hatással van az eredeti mintakörnyezetre. Standard fémsó oldatok és vérminták fő- és nyomelem tartalmát (pl. Na, P, S, Cl, K, Ca, Fe, Cu, Zn, Br) határozták meg levegőn történő részecskeindukált Röntgen- és gamma-emissziós spektroszkópiával (PIXE-PIGE).

A polidimetilsziloxánt (PDMS) eddig a mikro- és nanolitográfiában replika készítésre használták. Ebben a munkában az Atomki kutatói megmutatták, hogy pozitív és negatív reziszt anyagként direkt írásra is alkalmazható ez a polimer, attól függően, hogy milyen előhívószert alkalmaznak. Számos különböző vegyszer tesztelése során megállapították, hogy pozitív rezisztként KOH vagy NaOH volt maratásra alkalmazható, és a besugárzott területen a maratási sebesség függött az ionfluenstól. Negatív rezisztként tömény  $\text{H}_2\text{SO}_4$  megfelelően előhívta a besugározatlan anyagot. Rezisztencia teszttel kimutatták, hogy a végeredmény struktúrák sokkal ellenállóbbak lettek szerves oldószerekkel szemben, mint a kiinduló anyag.

Az IPERION CH EU H2020 projekt keretében többek között elvégezték a Pireneusokban található kovakölelőhelyek geokémiai jellemzését abból a célból, hogy összevessék a magdaléni kultúrából származó kőszközökkel. A Magyar Nemzeti Múzeummal való együttműködés keretében bronzkori aranyleletek elemösszetételét határozták meg. A Hajdúsági Múzeum felkérésére a térségből származó bronzkori szitulák elemösszetételét adták meg. Ezek nagyméretű bronzedények, valószínűleg italok keverésére, tárolására használták őket. Eredményeik hozzájárultak a rendőrség által csempésztevékenységgel kapcsolatosan lefoglalt ún. második hajdúböszörményi szitula eredetének tisztázásához.

$^{52}\text{Mn}$  PET (Pozitron Emissziós Tomográfia) radioizotópot használtak mezőgazdasági haszonnövények mikroelem-felvételének PET kamerával történő meghatározásához. A haszonnövény és a vele szimbiózisban élő nitrogénmegkötő baktériumok mangánfelvételét tanulmányozták, a mangán felvételét és az esetleges feldúsulást követték nyomon PET kamerával. A cél a PET módszer bevezetése és alkalmazása a szeparációs és transzport folyamatok dinamikus leképezésére. PET kamerával vizsgálták kromatográfiás oszlopon fokozatosan szeparálódott nyomjelzett komponensek leképezését az elválasztás hatékonyságának követésére. A PET képalkotást használták a  $^{11}\text{C}$ -jelzett metanol-olefin reakciójának leképezésére és analizálására is speciálisan aktivált katalizátor oszlopon.

Alkatrészek kopásának vizsgálatára irányuló mérések során felmerült a radioaktív térfogat homogenitása. Ennek mérésére új módszert dolgoztak ki. Eszközül az Atomkiban kifejlesztett MiniPET berendezés legújabb változatát használták. A pozitronbomló izotóp(ok) mérése alapján határozták meg az aktivitáseloszlást.

Meghatározták orvosi izotópok előállításához kapcsolódó reakciók hatáskeresztmetszeteit. Olyan új kísérleti reakció hatáskeresztmetszet adatokat határoztak meg, amelyek különböző referencia adatbázisok létrehozását támogatják, segítik a megfelelő elméleti modellek kidolgozását, illetve az adatok gyakorlati alkalmazását is magukban foglalják. A vizsgált céltárgy anyagok: Al, Ti, Cu, Mo, Cd, Tm, Y, Zn, Zr, Ir voltak. Elkészítették a NAÜ monitor

reakciók adatbázisának új online verzióját. Kísérleti adatokat kompiláltak a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség (IAEA) EXFOR adatbázisába.

Nagy anyagmennyiségű, dúsított gadolinium céltárgyaktól (>500 mg) történő új, nagy hatásfokú radio-terbium elválasztási módszereket fejlesztettek ki. A terbium radioizotópjai között négy olyan is van, melyek bomlási tulajdonságai alkalmassá teszik azokat orvosbiológiai célokra (rákterápia:  $^{149}\text{Tb}$  és  $^{161}\text{Tb}$ ; SPECT diagnosztika:  $^{155}\text{Tb}$ ; PET diagnosztika:  $^{152}\text{Tb}$ ). A radio-terbiumok a megfelelő bio-targeting vektorokkal társítva fontos szerepet töltenek be a teranosztikus (diagnosztikus és terápiás izotópok egyetlen ágensben való kombinálása) módszerek klinikai kutatásában és alkalmazásában.

### *Atom- és molekulafizika*

A közelmúltban végzett kísérletekhez kapcsolódva elméletileg vizsgálták az egyszeres ionizáció folyamatát a 75 keV  $p + \text{H}_2$  ütközési rendszerben. Az ún. két-effektív-centrum közelítést alkalmazták a folytonosan torzított hullámú modell keretében. Számításaik a korábbi elméleti leírásoknál lényegesen jobb egyezést mutatnak a mért többszörösen differenciális hatáskeresztmetszetekkel, különösen nagy impulzusátadások esetén. Elméleti módszerükkel sikeresen értelmezték a szóródott lövedékion szögeloszlására kapott kísérleti eredményeket is, mind koherens, mind inkoherens lövedéknyalábok esetén.

Vízmozkulát bombáztak 1 MeV energiájú  $\text{H}^+$  és  $\text{He}^+$ , valamint 650 keV-es  $\text{N}^+$  ionokkal, és mérték a molekula Coulomb-robbanásából származó fragmentumok energia- és szögeloszlását. A kapott spektrumok elemzésével meghatározták az egyes fragmentációs csatornák hozamait. Ezekből többszörös ionizációs hatáskeresztmetszeteket származtattak, melyeket összevetettek a függetlenrészeske-közelítés (IPM) keretében végzett klasszikus és kvantummechanikai modellszámításokkal. Az elméleti eredményeket felhasználva értelmezték a céltárgy többszörös ionizáltságú állapotainak megfigyelt eloszlását. Rámutattak az IPM modell korlátára a perturbáció erősségének növekedésénél.

Mágnescsapdában mikrohullámmal keltett plazmákat vizsgáltak egy saját fejlesztésű plazmadiagnosztikai mérőberendezéssel. A plazma részletes hőmérséklet- és sűrűségterképét elkészíteni képes eszköz 4 db automatizált mozgású Langmuir-szondával rögzít áramfeszültség karakterisztikákat. A szintén saját fejlesztésű szoftver segítségével a szondák adatgyűjtése és az adatok kiértékelése automatikus és ciklikus. Mivel a kutatócsoport résztvevője a H2020 ENSAR2/MIDAS EU-együttműködésnek, 4 külföldi vendégkutató számára egy nagyon sikeres tudományos tréninget szerveztek az említett plazmaberendezéshez kapcsolódóan.

Fotonabszorpciós vizsgálatokat végeztek endohedrális negatív fullerén ionokon ( $\text{Sc}_3\text{N}@C_{80}$ ) a szkandium L-héj ionizációs küszöbe környezetében a hamburgi PETRA-III szinkrotron nyalábcatornáján az Atomki, a giesseni Justus Liebig Universitát és a DESY együttműködésének keretében. Az ionok végállapotú töltésállapot-eloszlásának analízisével sikerült kimutatni a Sc L-héj rezonáns gerjesztését, valamint a rezonáns folyamatot követő kaszkád Auger-elektron emisszió jelenlétét.

A hamburgi PETRA-III szinkrotron nyalábcatornáján asztrofizikailag releváns vas ionok fotoionizációját tanulmányozták különböző kezdeti állapotokból ( $\text{Fe}^{q+}$ ,  $q=1,2,3$ ) létrehozott végállapotú ionok ( $\text{Fe}^{q+ne}$ ,  $n=1,2,\dots,7$ ) detektálásával. Ugyanott  $\text{Si}^+$  ion egyszeres és

többszörös fotoionizációját vizsgálták a K-héj rezonáns gerjesztésének megfelelő fotonenergia-tartományban, és gerjesztési hatáskeresztmetszeteket mértek 1800-2000 eV energiájú fotonokkal a rezonancia szerkezet feltérképezésére.

Makroszkopikus üveg kapillárison átjutott ionok eltérülését az eltelt idő függvényeként alkalmazták, mint egy ideális elektrométer a szigetelőfelület potenciáljának megfigyelésére, amely esetükben egy kúpos üveg kapilláris belső felülete volt. Megmutatták, hogy az üveg kapillárisok képesek akár 500 V-nál nagyobb potenciálra is feltöltődni, még egyszeres töltésű ionok esetében is, ezzel megnövelve az átvitelt, mely új teret nyithat a kúpos kapillárisok töltött részecske-transzportjának alkalmazása terén. A jelenlegi elrendezés a kapilláris potenciál dinamikáját szabályozó szivárgási áramok meghatározására is alkalmas. Bebizonyították, hogy a keletkezett másodlagos elektronok erősen befolyásolhatják a kapilláris potenciál növekedését, és ezáltal elkerülhető az úgynevezett Coulomb blokkolás.

### *Felületfizika*

Kétféle módszerrel tanulmányozták elektromos kétréteg-kondenzátorok nanokristályos átmenetifém-oxid katódjának elektronszínképét. A Co, Ni, Mn, Zn, O, N, C összetételű nano-porok fotoelektron és Auger-elektron színeképi sávjából a vegyi állapotokat, egy másik módszerrel a nano-porok tiltott sáv szélességét határozták meg. A nano-porok előállítója a teheráni Materials and Energy Research Center volt, mint együttműködő partner. Az előállított nano-porokkal szuperkondenzátorokat készítettek, melyek töltéstároló képességét kísérletileg is ellenőrizték. 1000-2000 ciklikus feltöltés-kisütés után is nagy kapacitás értékeket, ill. nagy energia- és áramsűrűségeket tapasztaltak.

Átmeneti fémek optikai paramétereit származtatták Monte Carlo szimulációval elektronszínkép kísérletekből. Ni és Fe energiaveszteségi elektronszínképeit mérték 1-3 keV primer energiáknál. A kísérleti eredmények felhasználásával kínai együttműködő partnerek (University of Science and Technology, Hefei, Anhui, Kína) meghatározták a Fe és Ni optikai paramétereit és az elektronok rugalmatlan szórás szabad úthosszát az energiaveszteségi függvény származtatásával, a 0-100 eV (Fe) és a 0-200 eV (Ni) szélességű energiaveszteségi elektron színeképekből. A mérések a korábbi optikai méréseknél pontosabb optikai paramétereket eredményeztek.

Anyagok optikai függvényének abszolút meghatározását mutatták be mért visszaszórt elektronveszteségi spektrumokra alapozva a nemrégiben kifejlesztett inverz Monte Carlo technika segítségével. A módszer az elektrontranszport-folyamatok pontos modellezésén alapul, az energiaveszteség függvény globális optimalizálását felhasználva. Anyagok optikai állandóit és az elektron rugalmatlan szabad úthosszakát adták meg, miután a számításaik pontosságát az f- és ps-összegzési szabályokkal ellenőrizték.

Vizsgálták vas és acél felületek magas hőmérsékletű fémötvözet-olvadékba (Zn-Ti, Zn-Mn) mártásos galvanizálással készített korrózió elleni bevonatát. Fotoelektron- és tömegspektroszkópiai mérésekkel kimutatták, hogy Zn-Ti ötvözetel készített bevonatban a különböző oxidációs állapotú titán oxidok (TiO<sub>x</sub>) különböző rétegekben helyezkednek el a felülettől mért mélység függvényében. A réteges szerkezet kialakulását az olvadék összetétele és a bevonati réteg hűlési sebessége határozza meg. Kimutatták, hogy nanométer skálán a rétegnövekedés aktivációs energiája megegyezik a felületi durvaság növekedéséhez szükséges

aktivációs energiával. A TiO<sub>x</sub> réteges szerkezetének feltárása műszaki és anyagtudományi szempontból is új eredmény.

Nedveskémiai eljárással előállított félvezető tellúr nanoszálak kristálynövekedési jellemzőit vizsgálták inert makromolekulákkal zsúfolt közegekben. A rendszer kinematikai viselkedését tanulmányozták szisztematikusan az előállított nanoszálak koncentrációjának és geometriai paramétereinek időbeli változásain keresztül. A téma anyagtudományi és biológiai szempontból is érdekes. Biológiai rendszerekben a zsúfoltság alapvető szerepet játszik a biokémiai folyamatokban mint nonspecifikus katalizátor, és mélyebb ismeretük fontos az élő szervezetekbe került, vagy juttatott, szervesetlen nanorészecskék stabilitásának és funkcionalitásának jövőbeni tervezéséhez.

### *Környezettudomány*

A szisztematikus K-Ar kormeghatározások lehetővé tették a vizsgált területek tektonikai- és magmás események fejlődéstörténetének rekonstruálását, amely az alábbiakban foglalható össze: A riftesedés kezdeti fázisához köthető bazaltos és ignimbrites vulkáni tevékenység kora 38,5 millió és 22,3 millió év közé tehető. A riftesedéssel egy időben lejátszódó főleg bazaltos vulkáni tevékenység és a kisebb mennyiségű riolitos vulkáni anyag felszínre jutása kb. 1,2 millió év és 0,5 millió év között történt. A vizsgált területhez tartozó Bale Vulkáni Komplex kialakulásában felismert kitörési fázisok összetett vulkáni szerkezethez köthető eseménysort jelentenek, amely mintegy 20 millió év alatt játszódott le.

Nemesgáz analitikai vizsgálatok (He, Ne, Ar, Kr, Xe) készültek a kabai meteoriton. A minták nemesgázai különböző hőmérsékleteken (600; 800; 1000 és 1800 °C) lettek felszabadítva. A Ne izotópadatok segítségével sikerült a meteorit kozmogén kitétségi korát 11,8 millió évről 12,1 millió évre pontosítani. A meteorit a korábban feltételezett 9-10 cm-el szemben 15 cm sugarú lehetett, ablációs vesztesége pedig relatíve kicsi (~70%) volt. A meteorit Xe izotóparányai alapján a meteorit nanogyémánt tartalma 500 ppm-re becsülhető és a meteorit az egyik legprimitívebb típusba tartozik, ezzel megelőzve a referenciaként használt Allende meteoritot.

Új bizonyítékot találtak arra, hogy az észak-atlanti térség klímaingadozásai Európa és a Kárpát-medence éghajlatára és öskörnyezetére is jelentős hatással voltak. Elvégezték a Dunaszekcsői löszüledékekben található parányi elszenesedett növényi maradványok és csigahéjaik nagy pontosságú, gyorsító tömegspektrométeres radiokarbon kormeghatározását. A pontosabb kalibrációs görbék, valamint Monte Carlo szimuláció segítségével meghatározható volt az üledékes rétegsor kor-mélység modellje. Az ebből számított üledékfelhalmozódási ráta és porfluxus, az üledékbe temetett csigahéjak stabilizotóp-összetétele, valamint az üledék és a benne lévő kvarckristályok méreteloszlása adtak információt az egykori környezet változásairól.

Az Észak-Patagóniai partoknál, a San Matias-öbölben (Argentína) tíz különböző régészeti kagylóhéjdomb feltárása és radiokarbon analízise alapján meghatározták az óceáni eredetű szén beépítése miatt a kagylókban fellépő <sup>14</sup>C kor-módosító hatást (Reservoir-kor, R). Ezt az azonos régészeti horizontokból származó kagylóhéj töredékek és elszenesedett növényi maradványok összehasonlító AMS <sup>14</sup>C kor mérése tette lehetővé. Az egyedi R értékek 205±48 év és 358±56 év között mozogtak a 700-5300 <sup>14</sup>C év közötti korszakban, jelentősebb időbeni



függés nélkül. Az átlag korrekciós kor értéke ( $R=266 \pm 51$  év) jól alkalmazható más régészeti lelőhelyeken talált kagylókon mért  $^{14}\text{C}$  korok naptári korokká való átszámítása során.

A Provalata-barlang (Macedónia) gipsz lerakódásain végeztek részletes S és O izotóparány-elemzéseket. Csak néhány tanulmány foglalkozik barlangi szulfát üledékek kén- és oxigénizotóp-frakcionációjának vizsgálatával, figyelembe véve a kénsavas speleogenezist is. Pozitív korreláció mutatkozott a  $\delta^{18}\text{O}$  and  $\delta^{34}\text{S}$  értékek között, mely a többlépéses mikrobiális oxidáció környezeti kontrollja hatására alakulhatott ki. Ezen felül a kénhidrogén oxidációját megelőző  $\delta^{34}\text{S}$  eltolódása a  $\text{H}_2\text{S}$  kén izotóp-összetételének változására mutat rá.

A  $^{190}\text{Pt}/^{186}\text{Os}$  rendszert széles körben alkalmazzák kormeghatározásra a geo- és kozmokémiában. A  $^{190}\text{Pt}$  felezési idejét ( $6,5(3)\times 10^{11}$  év), az eddig közölt adatok szórása ( $2\times 10^{11}$  -  $12\times 10^{11}$  év között) miatt pontosítani kellett. Ehhez nemzetközi együttműködésben alacsony háttérű kettős rácsos Frisch-féle ionizációs kamrát építettek. A mérésekhez használt platina izotóparányát határozták meg, amihez lézer ablációs induktív csatolású tömegspektrometriás módszert (LA-ICP-MS) dolgoztak ki. Mérési eredményeik alapján a felhasznált platinában a  $^{190}\text{Pt}$  aránya kis mértékben, de eltért az átlagtól, így a felezési idő meghatározásánál figyelembe kellett venni. A  $^{190}\text{Pt}$  felezési ideje  $T_{1/2} = (4,97 \pm 0,16) \times 10^{11}$  évnek adódott.

Az MRI vizsgálatok terjedésével megnőtt a szennyvizekbe kerülő, gadolíniumot tartalmazó kontrasztanyagok mennyisége. Négy vízi növényfaj esetében vizsgálták meg laboratóriumi körülmények között, hogy milyen mértékben veszik fel a vízből a leggyakrabban használt két kontrasztanyagot, a Dotaremet és az Omniscent. Meghatározták a koncentrációfüggő gadolínium felvételt és jelentős akkumulációt nem tapasztaltak. A kontrasztanyaggal telített növényekből a Gd maradék nélkül kiürült. Békalencsénél az Omniscent felezési ideje 1,9 nap, a Dotaremeté 2,9 nap volt. Szignifikáns mértékű biofiltrációt nem tudtak kimutatni, ezért az utótisztító tőrendszerek valószínűleg nem tudják a szennyvízbe került kontraszt anyagokat eltávolítani.

Összehangolt mintavételt folytattak Magyarország 5 nagyvárosában (Budapest, Debrecen, Miskolc, Nyíregyháza, Pécs). A szálló por koncentrációja, elemi összetétele, szerves és szervetlen, valamint fosszilis és modern szén tartalma alapján meghatározták a városi aeroszol szennyezés forrásait, a források adott légszennyezettség szinthez való hozzájárulását, továbbá vizsgálták a hosszú távú transzportból származó aeroszol szerepét is. Receptormodell-számítás eredményeként az alábbi forrásokat azonosították: talaj, regionális transzportból származó másodlagos aeroszol, biomassa égetés, olajégetés, közlekedés, tengeri só, valamint biogén aeroszol. Diszperziós modellszámítás segítségével meghatározták az öt városban egyszerre megjelenő epizódok földrajzi eredetét.

Intenzív kéthetes aeroszol mérési és mintavételi kampányt hajtottak végre Budapest központjában, egy enyhe téli időszakban. A terepi on-line mérések mellett, elemi szén, szerves szén, levoglükozán és egyéb kémiai összetevők, valamint radiokarbon mérése történt a mintákból. Ujszerű, egyszerűsített kombinált radiokarbon-levoglükozán alapú forrásmeghatározási módszert vezettek be és alkalmaztak a főbb széntartalmú aeroszol komponensekre. Az elemi- és szerves összetevők jellemzően eltérő fosszilis forrásokból származtak. Míg az elemi-szén frakció inkább a gépjárművek kibocsátásához volt köthető, addig a szerves komponensek forrása inkább a háztartási felhasználás és ipari tüzeléshez kapcsolható.

Fukushima partjainál és az Északi-Csendes-óceán nyugati részein mélységi vízoszlopokból trícium, radiokarbon és radiocézium-koncentráció méréseket végeztek a 2011-2012-es évben gyűjtött mintákban. A legmagasabb felszíni  $^{134}\text{Cs}$  és  $^{137}\text{Cs}$  értékeket Fukushima partjainál mérték, mely mintegy 3 nagyságrenddel magasabb volt a baleset előtti szinthez képest. A trícium szint ennél kisebb mértékben nőtt meg, mindössze hatszoros értékek voltak kimutathatóak. Radiokarbonban mindössze 9%-os növekmény volt a természetes szinthez képest. Az erősen szennyezett víztömegek direkt kibocsátása, illetve a száraz- és nedves kihullással a sérült fukushimai erőműből jelentősen megváltoztatta ezek koncentrációját az Északi-Csendes-óceán nyugati részein a tengervízben.

Folyékony radioaktív hulladékok  $^{107}\text{Pd}$  tartalmának elemzésére szolgáló elválasztási eljárást fejlesztettek ki.  $\text{RhCl}_3$  porból ciklotronos besugárzással és savas roncsolással folyadék formájú  $^{103}\text{Pd}$  nyomjelzőt állítottak elő, az egyéb aktivációs termékektől való teljesebb radiokémiai elválasztás érdekében. Az előállított gamma-sugárzó nyomjelző anyag segítségével valós (atomerőművi) minták elválasztását optimalizálták, különös tekintettel az ICP-MS mérésnél számottevő interferenciát okozó ezüsttől való elválasztására.

## II. b) Tudomány és társadalom

Az Atomki a 2017. év folyamán a következő rendezvényekkel érte el a nagyközönséget: *Európai Science on Stage Fesztivál*, *Kutatók Éjszakája*, *Fizikusnapok* és látogatócsoportok fogadása.

A 10. jubileumi *Európai Science on Stage Fesztivál* (2017.06.29.-07.02.) Debrecenben az Atomki társrendezésében valósult meg. A fesztiválon kb. 400, természettudományos tárgyakat tanító általános- és középiskolai tanár vett részt 30, főleg európai országból, és cserélte ki innovatív oktatási módszereit és tapasztalatait. Kiállítási standokon, műhelyekben és színpadi előadásokon mutatták be legjobb kísérleteiket és oktatási gyakorlataikat. Az Atomki kutatói a zsűri munkájában is részt vettek, és az intézet ajánlotta fel a technikailag legigényesebben magvalósított kísérletért adandó különdíjat is.

A *Kutatók Éjszakája* (2017.09.29.) alkalmával az Atomkiban folyó kutatásokkal ismerkedhettek meg az érdeklődők „*Miről mesélnek a műtárgyak és régészeti leletek - a fizikusoknak?*” című előadás keretében. A műtárgyak, régészeti leletek tanulmányozásában ma már egyre nagyobb szerepet kapnak a természettudományos módszerek. A fizika segítségével megállapíthatjuk a tárgyak, leletek korát, anyagösszetételét, illetve felfedezhetünk addig nem ismert részleteket is. A közönség létszáma 80 fő volt.

A *Fizikusnapokat* 38. alkalommal rendezte meg az Atomki (2017.11.20-24.), ezúttal az emberközpontú tudomány jegyében. Az elhangzott négy előadás tematikája az emberiség előtt álló kihívásokhoz, illetve az ezekre a tudomány segítségével adható válaszokhoz kapcsolódott. Így volt szó a klímaváltozás fizikai alapú modellezéséről, az atombomba kifejlesztésének történetéről, a mesterséges intelligenciáról, illetve az antropikus elvről. Az előadásokra általános iskolástól nyugdíjas korúig jöttek érdeklődők, összesen 339 fő. A hét folyamán a délelőtti órákban csoportok érkeztek összesen 24 iskolából, Debrecenből és távolabbi településekről, hogy a meghirdetett 28-féle rendhagyó óra valamelyikét meghallgassák. 70 rendhagyó óra hangzott el, melyen összesen 1975 látogatóórát töltöttek az intézetben. Utolsó napon a Debreceni Katasztrófavédelmi Kirendeltség közreműködésével

tűzvédelmi előadás hangzott el, majd a nézők egy próba tűzriadó keretében levonultak az udvarra, ahol egy roncsautó feláldozásával oltási bemutatót láthattak. Az egyhetes esemény révén az intézet részt vett a *Magyar Tudomány Ünnepe* keretében futó *Kutatóhelyek Tárt Kapukkal* programban.

Fentiekén kívül az év során 20 csoportban 504 fő érkezett az intézetbe (általános és középiskolások, egyetemisták, felnőtt érdeklődők) és összesen 1282 látogatóórát töltöttek el. A programok a csoportok ismeretszintjéhez és érdeklődéséhez igazodnak és kísérletekkel tarkított előadásokat, valamint az intézet laborjaiban történő látogatásokat tartalmaznak. A látogatóközpontban a radioaktív sugárzás tulajdonságaival és kimutatásával, a hidegfizikai bemutató alkalmával pedig az alacsony hőmérsékleten lejátszódó jelenségekkel ismerkednek az érdeklődők.

Az Atomki kutatói szerepet vállaltak hazai középiskolai tanárok továbbképzésében a CERN-ben, illetve közreműködtek a Nemzeti Radon Cselekvési Terv elkészítésében, valamint az új sugárvédelmi szabványok megalkotásában is.

Az Atomki weblapján keresztül megtekinthetők az intézet kutatói által írt ismeretterjesztő cikkek, amelyekből 2017-ben összesen 5 jelent meg az *Élet és Tudomány*, a *Fizikai Szemle* és a *Természet Világa* oldalain.

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

2017 során az Atomki és munkatársai 119 hazai médiamegjelenésben szerepeltek.

### **III. A kutatóhely új hazai és nemzetközi K+F kapcsolatai 2017-ben**

Az intézet együttműködésben folytatott kutatásai hagyományosan egyrészt a nagy nemzetközi kollaborációk (pl. CERN-CMS, LUNA, RIKEN stb.) keretében valósulnak meg, másrészt pedig különféle szintű kétoldalú kapcsolatokon alapszanak. A kollaborációk köre 2017-ben az AGATA (Advanced GAMMA Tracking Array) együttműködéssel bővült. Az Atomki a magyar koordinátora a H2020 E-RIHS PP (European Research Infrastructure for Heritage Science Preparatory Phase) projektnek. Az Atomki munkatársai két új projekthez csatlakoztak a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség (IAEA) szervezésében. A kétoldalú kapcsolatok elsősorban a környező országok partner intézményeivel kötött megállapodásokkal bővült (Varsói Egyetem, krakkói Magfizikai Kutatóintézet, prágai Károly Egyetem, Nagyváradai Egyetem, Szlovák Geológiai Intézet), de új megállapodások születtek távolabbi országok intézményeivel is (Eindhoveni Egyetem, CIMAP, Caen, Franciaország, NECSA, Dél-Afrika).

Az új hazai együttműködések között megemlíthető az MTA BTK Régészeti Intézet Lendület Kutatócsoportjával, illetve az MTA Ökológiai Kutatóközpontjával kialakított munkakapcsolat. A vállalati szférából továbbra is az MVM Paksi Atomerőmű Zrt. a legjelentősebb együttműködő.

2017-ben az Atomki kutatói szervezték a 2<sup>nd</sup> Radiocarbon in the Environment nemzetközi tudományos konferenciát Debrecenben (július 3-7) amelyen összesen 108 regisztrált résztvevő érkezett 27 országból, több mint 110 előadással.

Az Atomki Külső Tanácsadó Testülete 2017. november 20-án tartotta ülését az intézetben, ahol egyebek mellett az Atomki munkatársainak az ELI (Extreme Light Infrastructure) szegedi és bukaresti intézményében tervezett kutatásairól kapott tájékoztatást.

A felsőoktatásban való részvétel 2017-ban is fontos szerepet töltött be az intézet kutatóinak tevékenységében. Az Atomki kutatói főképpen a Debreceni Egyetemen, azon belül pedig főleg a Természettudományi és Technológiai Karon végeztek oktatómunkát. Összesen 32 elméleti és 20 gyakorlati kurzust hirdettek meg. A beszámolási időszak folyamán 21 PhD, 12 MSc, 29 BSc és 15 TDK-hallgató dolgozott az intézetben. Doktori képzésben 48 atomkis kutató volt érdekelt, köztük heten doktori iskolai törzstagként. Közülük öten a Debreceni Egyetem fizikai, ketten pedig az informatikai doktori iskolájának törzstagjai. Az intézetben folytatódott a kutatóhallgatói ösztöndíjas program, amelynek keretében egyetemisták vállalnak részt a kutatómunkában. A tavaszi és az őszi félévben 8, illetve 7 ösztöndíjas vett részt ebben a programban. Az Atomki fiatal kutatói témavezetést biztosítottak annak a nyolc egyetemistának, akik kilenc hétre érkeztek az intézetbe a Nagyváradai Egyetemről az Erasmus+ program keretében.

#### **IV. A 2017-ben elnyert fontosabb hazai és nemzetközi pályázatok rövid bemutatása**

- *GEOCORE Magminta, Gyűjteményi és Laboratóriumi Földtani Tudásközpont fejlesztése*, GINOP-2.3.3-15-2017-00043, 36 hónap, 166175 E Ft
- *Egzotikus atommagátalakulások precíziós vizsgálata*, OTKA K124810, 48 hónap, 47840 E Ft
- *Kollektív és egyrészecske mozgásformák atommagokban*, OTKA PD124717, 36 hónap, 15219 E Ft
- *Légköri aeroszol forrásainak vizsgálata városi környezetben*, OTKA PD125086, 36 hónap, 15219 E Ft
- *Ultragyors folyamatok vizsgálata intenzív lézer-anyag ütközésekben*, OTKA KH126886, 24 hónap, 20000 E Ft
- *Eszközfüggetlen kvantumprotokollok nem desztillálható kvantumrendszerek tesztelésére*, OTKA KH 125096, 24 hónap, 19995 E Ft
- *Erősen reaktív molekula-töredékek létrehozása gáz fázisú ütközési folyamatokban*, TÉT\_16-1-2016-0126, 24 hónap, 1970 E Ft
- *Szigetelő felületek fel- és letöltődési dinamikájának a vizsgálata: Kapillárisok, mint önszerveződő elektrosztatikus lencsék*, 2017-2.2.5-TÉT-FR-2017-00008, 24 hónap, 1790 E Ft
- E-RIHS PP, 36 hónap, 37000 EUR
- IAEA 22185, 36 hónap, 20000 EUR
- IAEA F22069, 36 hónap, 20000 EUR

#### **V. A 2017-ben megjelent jelentősebb tudományos publikációk**

Pál KF, Vértesi T:

Family of Bell inequalities violated by higher-dimensional bound entangled states.

PHYSICAL REVIEW A, 96:(2) 022123. (2017)  
<https://arxiv.org/abs/1704.08600>

Halász Z, Nakahara A, Kitsunozaki S, Kun F:  
Effect of disorder on shrinkage-induced fragmentation of a thin brittle layer.  
PHYSICAL REVIEW E, 96:(3) 033006. (2017)  
<http://real.mtak.hu/72272/>

Hornyák I, Kruppa A:  
Hylleraas- and Kinoshita-type wave functions with correct cusp conditions.  
PHYSICAL REVIEW A, 96: 052506. 7 (2017)  
<http://real.mtak.hu/72172/>

Adsley P, Jenkins D G, Cseh J, Dimitrova S S, Brümmer J W, Riczu G, et al.(18):  
 $\alpha$  clustering in  $^{28}\text{Si}$  probed through the identification of high-lying  $0^+$  states.  
PHYSICAL REVIEW C, 95:(02) 024319. 8 (2017)  
<https://arxiv.org/abs/1609.00296>

Lévai G:  
Accidental crossing of energy eigenvalues in PT-symmetric Natanzon-class potentials.  
ANNALS OF PHYSICS, 380: 1-11. (2017)  
<http://real.mtak.hu/72297/>

Bruckmann F, Endrődi G, Giordano M, Katz SD, Kovács TG, Pittler F, et al. (7):  
Landau levels in QCD.  
PHYSICAL REVIEW D, 96:(7) 074506. 18 (2017)  
<https://arxiv.org/abs/1705.10210>

Defenu N, Trombettoni A, Nándori I, Enss T:  
Nonperturbative renormalization group treatment of amplitude fluctuations for  $|\varphi|^4$  topological phase transitions.  
PHYSICAL REVIEW B, 96: 174505. 16 (2017)  
<https://arxiv.org/abs/1706.00618>

Zamora JC, Aumann T, Csatlós M, Krasznahorkay A, Stuhl L, Zenihiro J et al. (47):  
Nuclear-matter radius studies from Ni-58(alpha,alpha) experiments at the GSI Experimental Storage Ring with the EXL facility.  
PHYSICAL REVIEW C, 96:(3) 034617. (2017)  
<http://real.mtak.hu/74318>

Mutschler A, Lemasson A, Sorlin O, Bazin D, Dombrádi Z, Sohler D, et al. (22):  
A proton density bubble in the doubly magic  $^{34}\text{Si}$  nucleus.  
NATURE PHYSICS, 13: 152-156. (2017)  
<https://arxiv.org/abs/1707.00358>

Olivier L, Franchoo S, Vajta Z, Sohler D, Dombrádi Z, Xu Z et al. (66):  
Persistence of the Z=28 Shell Gap Around  $^{78}\text{Ni}$ : First Spectroscopy of  $^{79}\text{Cu}$ .  
PHYSICAL REVIEW LETTERS, 119:(19) 192501. (2017)  
<http://real.mtak.hu/74319>

Dudouet J, Lemasson A, Dombrádi Z, Kuti I, Sohler D, Zielińska M et al. (66):  
 $^{96}_{36}\text{Kr}_{60}$  -Low- Z Boundary of the Island of Deformation at N=60.  
PHYSICAL REVIEW LETTERS, 118:(16) 162501. (2017)  
<https://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.118.162501>

Sahin E, Bello Garrote FL, Sohler D, Vajta Z, Yoshinaga K et al. (48):  
Shell Evolution towards  $^{78}\text{Ni}$ : Low-Lying States in  $^{77}\text{Cu}$ .  
PHYSICAL REVIEW LETTERS, 118:(24) 242502. (2017)  
<http://real.mtak.hu/74320>

Wu J, Nishimura S, Korkulu Z, Dombrádi Z, Kuti I, Vajta Z, et al. (68):  
94  $\beta$  -Decay Half-Lives of Neutron-Rich  $^{55}\text{Cs}$  to  $^{67}\text{Ho}$  : Experimental Feedback and  
Evaluation of the r -Process Rare-Earth Peak Formation.  
PHYSICAL REVIEW LETTERS, 118:(7) 072701. (2017)  
<http://real.mtak.hu/74321>

Gyürky Gy, Ornelas A, Fülöp Zs, Halász Z, Kiss G G, Szücs T, Huszánk R, Hornyák I, Rajta I, Vajda I:  
Cross section measurement of the astrophysically important  $^{17}\text{O} (p, \gamma) ^{18}\text{F}$  reaction in a wide  
energy range.  
PHYSICAL REVIEW C, 95:(3) 035805. (2017)  
<https://arxiv.org/abs/1703.03184>

Lugaro M, Karakas A I, Elekes Z, Fülöp Zs, Gyürky Gy, Szücs T, et al. (37):  
Origin of meteoritic stardust unveiled by a revised proton-capture rate of  $^{17}\text{O}$ .  
NATURE ASTRONOMY, 1: 0027. (2017)  
<https://www.nature.com/articles/s41550-016-0027>

Huszánk R, Csedreki L, Török Zs:  
Direct Trace Element Analysis of Liquid Blood Samples by In-Air Ion Beam Analytical  
Techniques (PIXE–PIGE).  
ANALYTICAL CHEMISTRY, 89:(3) 1558-1564. (2017)  
<http://real.mtak.hu/47603/>

Nagy GUL, Lavrentiev V, Bányász I, Szilasi SZ, Huszánk R, Rajta I, et al.(8):  
Compaction of polydimethylsiloxane due to nitrogen ion irradiation and its application for  
creating microlens arrays.  
THIN SOLID FILMS, 636: 634-638. (2017)  
<http://real.mtak.hu/74322>

Sánchez de la Torre M, Angyal A, Kertész Z, Csedreki L, Furu E, Papp E, Szoboszlai Z,  
Szikszai Z et al. (10):  
Trace element mapping of two Pyrenean chert deposits (SW Europe) by PIXE.  
NUCLEAR INSTRUMENTS & METHODS IN PHYSICS RESEARCH SECTION B, 400:  
58-64. (2017)  
<http://real.mtak.hu/743223>

Zhu X, Kosinov N, Kubarev AV, Bolshakov A, Valastyán I, Hofmann JP, Roeffaers MBJ, Sarkadi-Pribóczki E, et al. (10):  
Probing the Influence of SSZ-13 Zeolite Pore Hierarchy in Methanol-to-Olefins Catalysis by Using Nanometer Accuracy by Stochastic Chemical Reactions Fluorescence Microscopy and Positron Emission Profiling.

CHEMCATCHEM, 9:(18) 3470-3477. (2017)

<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/cctc.201700567/epdf>

Ditrói F, Tárkányi F, Takács S, Hermanne A:

Extension of activation cross section data of long lived products in deuteron induced nuclear reactions on platinum up to 50 MeV.

NUCLEAR INSTRUMENTS & METHODS IN PHYSICS RESEARCH SECTION B, 401: 56-70. (2017)

<http://real.mtak.hu/62366/>

Takács S, Ditrói F, Szűcs Z, Haba H, Komori Y, Aikawa M, et al. (7):

Crosschecking of alpha particle monitor reactions up to 50 MeV.

NUCLEAR INSTRUMENTS & METHODS IN PHYSICS RESEARCH SECTION B, 397: 33-38. (2017)

<http://real.mtak.hu/54058/>

Kovács STS, Herczku P, Juhász Z, Sarkadi L, Gulyás L, Sulik B:

Dissociative ionization of the H<sub>2</sub>O molecule induced by medium-energy singly charged projectiles.

PHYSICAL REVIEW A, 96:(3) 032704. (2017)

<http://real.mtak.hu/71226/>

Sarkadi L:

Calculation of the matrix elements of the Coulomb interaction involving relativistic hydrogenic wave functions.

COMPUTER PHYSICS COMMUNICATIONS, 212: 283. (2017)

<http://real.mtak.hu/71224/>

Müller A, Bernhardt D, Borovik A, Buhr T, Hellhund J, Ricz S, et al. (13):

Photoionization of Ne Atoms and Ne<sup>+</sup> Ions Near the K Edge: Precision Spectroscopy and Absolute Cross-sections.

ASTROPHYSICAL JOURNAL, 836:(2) 166. (2017)

<http://real.mtak.hu/74325>

Takáts V, Haki J, Csik A, Bereczki H F, Lévai G, Vad K et al.(9):

Ti oxidation states in Zn(Ti) coating of hot-dip galvanized steels.

SURFACE AND COATINGS TECHNOLOGY, 326: 121-127. (2017)

<http://real.mtak.hu/74327>

Hunyadi M, Gácsi Z, Csige L, Csik A, Huszánk R, Szűcs Z et al.(8):

Enhanced growth of tellurium nanowires under conditions of macromolecular crowding.

PHYSICAL CHEMISTRY CHEMICAL PHYSICS, 19: 16477-16484. (2017)

<http://pubs.rsc.org/en/Content/ArticleLanding/2017/CP/C7CP01011G>

Xu H, Da B, Tóth J, Tőkési K, Ding ZJ:  
Absolute determination of optical constants by reflection electron energy loss spectroscopy.  
PHYSICAL REVIEW B, 95:(19) 195417. (2017)  
<http://arxiv.org/abs/1609.02639>

Abbasi N, Moradi M, Hajati S, Kiani MA, Tóth J:  
In-situ growth of ultrathin Ni<sub>6</sub>MnO<sub>8</sub> nanosheets on nickel foam as a binder-free positive electrode for asymmetric supercapacitor: Effects of alkaline aqueous and redox additive electrolytes.  
JOURNAL OF MOLECULAR LIQUIDS, 244: 269-278. (2017)  
<http://real.mtak.hu/74334>

Kovacs M, Seghedi I, Yamamoto M, Fülöp A, Pécskay Z, Jurje M:  
Miocene volcanism in the Oaş–Gutâi Volcanic Zone, Eastern Carpathians, Romania: Relationship to geodynamic processes in the Transcarpathian Basin.  
LITHOS, 294-295: 304-318. (2017)  
<http://real.mtak.hu/74335>

Újvári G, Stevens T, Molnár M, Demény A, Fabrice L, Jull AJT, et al. (10):  
Coupled European and Greenland last glacial dust activity driven by North Atlantic climate.  
PROCEEDINGS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE UNITED STATES OF AMERICA, 114:(50) 10632-10638. (2017)  
<http://real.mtak.hu/72368/>

Miller JA, Dunford AJ, Swana KA, Palcsu L, Butler M, Clarke CE:  
Stable isotope and noble gas constraints on the source and residence time of spring water from the Table Mountain Group Aquifer, Paarl, South Africa and implications for large scale abstraction.  
JOURNAL OF HYDROLOGY, 551: 100-115. (2017)  
<http://real.mtak.hu/74336>

Italiano F, Kis B-M, Baciú C, Ionescu A, Harangi S, Palcsu L:  
Geochemistry of dissolved gases from the Eastern Carpathians - Transylvanian Basin boundary.  
CHEMICAL GEOLOGY, 469: 117-128. (2017)  
<http://real.mtak.hu/74337>

Koltai G, Spötl C, Shen CC, Wu CC, Rao Z, Palcsu L, et al. (9):  
A penultimate glacial climate record from southern Hungary.  
JOURNAL OF QUATERNARY SCIENCE, 32:(7) 946-956. (2017)  
<http://real.mtak.hu/74339>

Braun M, Georgiev YM, Schönherr T, Wilsenach H, Zuber K:  
A new precision measurement of the  $\alpha$ -decay half-life of <sup>190</sup>Pt.  
PHYSICS LETTERS B, 768: 317-320. (2017)  
<https://doi.org/10.1016/j.physletb.2017.02.052>

Haliuc A, Veres D, Brauer A, Hubay K, Hutchinson S, Braun M et al. (7):



Palaeohydrological changes during the mid and late Holocene in the Carpathian area, central-eastern Europe.

GLOBAL AND PLANETARY CHANGE, 152: 99-114. (2017)

<http://real.mtak.hu/74338>

Salma I, Németh Z, Weidinger T, Maenhaut W, Molnár M, Major I, et al. (10):

Source apportionment of carbonaceous chemical species to fossil fuel combustion, biomass burning and biogenic emissions by a coupled radiocarbon–levoglucosan marker method.

ATMOSPHERIC CHEMISTRY AND PHYSICS, 17:(22) 13767-13781. (2017)

<https://doi.org/10.5194/acp-17-13767-2017>