

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 2018-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. A GINOP pályázatokhoz kötődő infrastrukturális fejlesztések között kiemelt jelentőségű volt a Klímakutatási és Környezetfizikai Laboratóriumnak otthont adó épület átalakításának befejezése, illetve a Tandetron Laboratórium második ütemének időarányos megvalósítása. Ez utóbbi által kialakult egy világszínvonalú infrastruktúra (három különböző, csúcsteljesítményű ionforrás; nagy pontosságú energiastabilitás; kilenc független nyalábvég mérőhely), mely kitűnő lehetőséget nyújt a magyar kutatók nemzetközi versenyképességének fokozásához. Az Atomki 2018-ban is jelentős szerepet vállalt az egyetemi oktatásban, a PhD képzésben, a nemzetközi szakemberképzésben és a tudomány népszerűsítésében. Az év második felében újszerű feladatot jelentett az MTA és az ITM közötti tárgyalások követése, a lehetséges kimenetek és azoknak az intézet működésére várható befolyással levő következményeinek mérlegelése.

II. A 2018-ban elért kiemelkedő kutatási és más jellegű eredmények

II. a) Kiemelkedő kutatási eredmények

Elméleti fizika

A kötötten összefonódottság egy nagyon gyenge formáját képviseli az összefonódott kvantumállapotoknak. Ezen típusú állapotok olyan gyengén összefonótok, hogy tiszta formában végtelen számú példányukból sem nyerhető ki összefonódottság. Ennek ellenére hasznosnak bizonyulnak olyan alkalmazásokban, mint a kvantumos kulcskiosztás, adatrejtés, vagy biztonságos véletlenszámok előállítására. A kvantuminformatika egyik nyitott kérdése, hogy az ilyen típusú kvantumállapotok hasznosíthatók-e a kvantummetrológiában. Ezen kérdésre pozitív válasz sikerült adni: Megmutatták, hogy a többrésű kötötten összefonódott állapotokkal lineáris interferométerekben pontosabb paraméterbecslést lehet elérni, mint bármely szeparálható állapot segítségével, vagyis metrológiai szempontból hasznosak.

Csatolt csatornás modellekben a hatáskeresztmetszetet az S-mátrix pólusai erősen befolyásolják. Megmutatták, hogy a különböző Riemann síkokon levő pólusok mindegyike alkalmasan választott komplex energiájú bázisfüggvények segítségével meghatározható. Azt találták, hogy, a magfúziós energiatermelésben fontos ^5He úgynevezett árnyék pólusa a kölcsönhatás erősségétől függően más és más síkon helyezkedik el és ezért hatásuk is különböző.

Természeti katasztrófák, mint például a földcsuszamlások, földrengések, kialakulását nagyon sokszor nyomás, illetve nyírás alatt létrejövő törések okozzák. Megmutatták, hogy szilárdtestek nyomás hatására lezajló törési folyamatait alapvetően befolyásolja az anyag

strukturális rendezetlenségének mértéke. Ehhez számítógépen modellezték a földrengések szempontjából jelentős, üledékes kőzetek szerkezetét, majd henger alakú próbatestek viselkedését szimulálták. Kimutatták, hogy a katasztrofális töréshez közeledve két, egymást metsző törési sáv jön létre, amelyek irányítása és belső szerkezete függ a rendezetlenség mértékétől. Azt is megállapították, hogy a rendezetlenség hatása egy skálatörvénnyel írható le.

Különböző szimmetriák hatását vizsgálták a háromalfa-rendszer spektrumára. Tekintetbe vették az alfa-részek permutációs szimmetriáját, a nukleonok antiszimmetriáját, a geometriai háromszög-szimmetriát (D_{3h}) és az $U(3)$ -as dinamikai szimmetriát. Az derült ki meglepő módon, hogy a különböző szimmetriák következményeként nagyon hasonló spektrumok nyerhetők. Ennélfogva, az ismert spektrum hasonlósága a D_{3h} spektruméhoz nem tekinthető bizonyítéknak amellet, hogy ez a szimmetria a spektrum egészére jellemző.

Elkészítettek egy fejezetet a *PT Symmetry in Quantum and Classical Physics* monográfiába, ami a kvantummechanika pszeudo-hermitikus kiterjesztését jelentő PT-szimmetrikus kvantummechanika eredményeit foglalja össze. A témát C. M. Bender, a monográfia szerkesztője és szerzője alapozta meg 1998-ban, felfigyelve egyes komplex potenciálokra jellemző matematikai jellegű kuriózumokra. A terület elméleti kidolgozásában a fizika több területének képviselői részt vettek, majd számos jóslatot kvantumoptikai kísérletekben bizonyítottak is. Az említett fejezet 40 oldalon ad összefoglalást a PT-szimmetrikus kvantummechanika egzaktul megoldható problémáiról, amelyek jelentősen elősegítették a terület elméleti megalapozását.

Részecskefizika

A CERN EP-DT csoportjával közös kutatási együttműködés keretében száloptikai érzékelők tesztjét végezték el. Az száloptikai érzékelőkben ionizáló sugárzás hatására bekövetkező változások értelmezésére kidolgoztak egy fenomenológiai modellt. Az eredmények átfogó vizsgálatával meghatározták a modell nyolc jellemző paraméterének értékét. A paraméterértékeket ellenőrizték egy külön erre a célra kidolgozott módszerrel, ami a mérési adatok görbeillesztéssel történő kiértékelésén alapul.

A részecskefizika standard modelljének egyik lehetséges kiterjesztését jelentik a szuperszimmetrikus (SUSY) elméletek, melyek újabb, eddig meg nem figyelt részecskék létezését jósolják. A CERN CMS detektorának adatait felhasználva ilyen részecskék létezésére utaló jeleket kerestek. A jel és a háttér elkülönítésére a razor változókat és a nagy Lorentz-lökéssel rendelkező top kvarkokat használták. A megfigyelt események statisztikailag kompatibilisek voltak a standard modell által becsült háttérrel. Ezeket az eredményeket kizárásként értelmezték a SUSY modellek paraméterterében, és kombinálták egy hasonló razoranalízis eredményeivel. A gluinók létezését 2,0 TeV-ig, a top skvarkokét 1,14 TeV-ig zárták ki, mellyel emelték a korábbi CMS keresések által elért határokat.

Az erősen kölcsönható kvark-gluon rendszerek magas hőmérsékleten megjelenő kvark-gluon plazma állapotában vizsgálták a lokalizált kvark állapotok megjelenését rácson. Ehhez elsőként használtak egy olyan rács diszkretizációt, amely egzaktul megőrzi a rendszer viselkedését alapvetően meghatározó királis szimmetriát. Kimutatták, hogy a lokalizált állapotok pontosan azon a hőmérsékleten jelennek meg, ahol a kvark-gluon plazma, így a kvarkok lokalizációja lényeges szerepet játszhat az átmenet fizikájában.

A közelmúltban az MTA Atomki kutatói lítium protonok általi bombázásakor keletkező fermionpár spektrumában anomális csúcsot figyeltek meg. Ezt a csúcsot a fermionok és egy protofób 16,7 MeV tömegű bozon (X-bozon) közötti kölcsönhatással értelmezték. A protofób kölcsönhatás megfigyelésére irányuló nagy pontosságú atomfizikai kísérleteknek meg kell különböztetni az X-bozon hatását a nukleáris méret hatásától, ami a kölcsönhatás rövid (11,8 fm) hatótávolsága miatt problémát jelenthet. Jelen munkában elemezték az X-bozon feltételezésére vonatkozó állításokat a „szokásos”, elektronokat tartalmazó atomokra, a müonikus hidrogénre és a deutériumra gyakorolt következményei szempontjából. Azt tapasztalták, hogy a legígéretesebb atomfizikai rendszerek, ahol az X-bozonnak észrevehető hatása van, tehát az említett véges-nukleáris méret hatásoktól megkülönböztethető, azok az alacsony és közepes nukleáris töltésű müonikus atomok.

Magfizikai alap kutatás

A héjmodell szerint az atommagokban a nukleonok energiaszinteken, pályákon helyezkednek el. A legújabb elméleti modellszámolások alapján a neutrongazdag atommagokban a héjzáródások eltolódását a neutronok és a protonok között ható tenzorkölcsönhatás okozza. Az Atomki munkatársai nemzetközi együttműködésben a ^{77}Cu atommagot vizsgálva azt találták, hogy a legkülső spinpartner pályák közötti energiakülönbség körülbelül a felére csökken a stabilitási sávhoz közeli, és az ettől távoli atommagok között. Ez összhangban van a tenzorerő várt hatásával.

Az Atomki kutatói az R3B nemzetközi kollaborációval radiokatív nyalábokon végrehajtott nukleonkilökéses reakcióban kimutatták, hogy a 18-as tömegszámú szén atommag magasan gerjesztett állapotaiból a neutronok párosával lépnek ki. A neutronok közti korreláció rendkívül erős, ami arra utal, hogy ebben az atommagban a valencianeutronok kétneutronos csomókban helyezkednek el.

Az ún. Landau-Migdal g' paraméter a legfontosabb jellemző, ami szükséges a maganyagban történő pionkondenzáció megértéséhez, de a neutroncsillagok magjában történő gyors lehűlés értelmezésében is szerepet játszik. Egy japán kollégákkal együttműködésben elvégzett kísérlethez a kétszeresen mágikus ^{132}Sn atommagot radioaktív nyalábként állították elő a RIKEN-ben. Az $^{132}\text{Sn}(p,n)$ reakció kettős differenciális hatáskeresztmetszeteinek mérésével meghatározták a Gamow-Teller óriásrezonancia erősségeloszlását, majd ebből a Landau-Migdal paramétert, ami pontosítja a korábban mért adatokat.

Az Atomkiben megfigyelt, sötét anyaggal kapcsolatba hozott X(17) részecskejelölt $\gamma\gamma$ -bomlását vizsgálták annak érdekében, hogy eldönthessék, vektor típusú ($J^{\pi}=1^{+}$) vagy axiálvektor ($J^{\pi}=0^{-}$) típusú részecskéről van-e szó. A X(17) bozon előállítását az Atomki Tandetron laboratóriumában a $^3\text{H}(p,\gamma)^4\text{He}$, a müncheni FRM-II nagy-fluxusú reaktornál pedig $^3\text{He}(n,\gamma)^4\text{He}$ magreakcióban végezték. Nagy hatásfokú és jó energiafelbontású $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$ detektor segítségével első lépésként kimutatták a ^4He gerjesztett állapotának két γ -sugárzás kibocsátásával történő bomlását. Ez már jó alapot biztosít az X(17) bomlásakor várható szögkorreláció kiméréséhez.

Az ELI-NP-ben (Bukarest, Magurele) együttműködésben végzendő fotohasadási vizsgálatokra az Atomkiben megépítettek egy dupla Bragg ionizációs kamrát, amihez nyolc

ΔE -E detektor kapcsolódik. A detektorrendszer lehetőséget teremt a hasadványok energiájának, töltésének, tömegének és kilépési szögének egyidejű mérésére, valamint a könnyű (hármás hasadásból származó) termékek azonosítására, energiájuk és szögeloszlásuk meghatározására. A detektorok tesztelését és hitelesítését az Atomkiben román kollégák bevonásával végezték el egy ^{252}Cf hasadási forrás, illetve neutronok által indukált hasadás segítségével.

A GANIL-ban (Caen, Franciaország) működő AGATA (Advanced GAMMA Tracking Array) γ - és NEDA neutron-detektorrendszerekkel összekapcsolták az Atomki által üzemeltetett DIAMANT töltött részecske-detektorrendszert, részt vettek a rendszer digitális jelfeldolgozást használó mérőrendszerének összehangolásában, tesztelésében, majd az AGATA +DIAMANT +NEDA mérési kampányban, melynek során a gyorsítókomplexum által szolgáltatott nehézion nyalábokat használták egzotikus atommagok in-beam γ -spektroszkópiai vizsgálatára.

Az izospinzimmetria-sértő kölcsönhatást és az alakváltozások okozta effektusokat vizsgálták az EXOGAM-DIAMANT-NWALL detektorrendszerrel a GANIL-ban a ^{23}Mg – ^{23}Na tükrömagok analóg állapotai közt fellépő energiakülönbségeket mérve. Elsőként alkalmaztak egy realiztikus, töltésfüggetlen királis nukleon-nukleon potenciálból származtatott effektív kölcsönhatást az eredmények leírására. Kimutatták, hogy a tükröenergia-különbségek információt szolgáltatnak a magbőrre, valamint hogy a magbőr yrast-sáv menti változásai erősen korreláltak az $s_{1/2}$ glóriás pályák neutron- és protonbetöltődésében mutatkozó differenciákkal.

A gömbhalmazok csillagaiban tapasztalt oxigén-nátrium antikorrreláció megértéséhez a $^{22}\text{Ne}(p,\gamma)^{23}\text{Na}$ reakció pontosabb ismerete szükséges. A földalatti gyorsító által nyújtott egyedülállóan alacsony háttérrel kihasználva a LUNA együttműködés keretében minden eddiginél alacsonyabb energián megmérték a reakció direkt befogási hatáskeresztmetszetét, és felső korlátot adtak két asztrofizikailag lényeges rezonancia erősségére. Az eredmények alapján a reakció sebességének bizonytalansága három nagyságrenddel csökkent és a világegyetemben található nátrium eredete jobban megérthetővé vált.

A nehéz, protongazdag izotópok szintéziséért felelős asztrofizikai γ -folyamat jobb megértése érdekében proton-, és alfaindukált reakciók kísérleti vizsgálata szükséges. A korábban nem vizsgált ^{191}Ir és ^{193}Ir izotópokon (α,γ) és (α,n) hatáskeresztmetszeteket mértek újszerű, más eljárásoknál nagyobb érzékenységet és pontosságot biztosító módszerrel. A röntgen-detektáláson alapuló aktivációs technikát kombinálták vastagcélanyag-hozam mérésekkel. Az eredmények elméleti számításokkal való összehasonlítása fontos adatokat (reakciósebességeket) szolgáltat asztrofizikai modellekhez, illetve hozzájárul az elmélet pontosításához.

Magfizikai alkalmazások

Vékony SiN fóliák alkalmazásával protonok által indukált magreakciókban keletkező gamma-sugárzások és visszaszórt protonok differenciális hatáskeresztmetszeteit határozták meg szilícium és nitrogén atommagokra a 3-4 MeV protonenergia tartományban. Ezen elemek kvantitatív PIGE és NRA analitikája megbízható, pontos hatáskeresztmetszet adatokat követel meg, különös tekintettel a jelen lévő rezonanciákra. A meghatározott gamma- és részecske-

keltési hatáskeresztmetszet adatokat elérhetővé teszik a nemzetközi ionnyaláb-analitikai közösség számára a NAÜ Ion Beam Analysis Nuclear Data Library (IBANDL) adatbázisában.

A széles körben alkalmazott poli-dimetil-sziloxán polimer 2 MeV energiájú proton-besugárzás hatására mutatkozó kémiai, felületi és elasztikus tulajdonságait vizsgálták a felületi töltéssűrűség függvényében. Infravörös spektroszkópiás mérések jelentős kémiai változást mutattak a polimerben: szilikatizációtól kezdve egy SiO_x szilikát jellegű végtermék képződéséig. Atomerő-mikroszkópos (AFM) mérésekkel megállapították, hogy a PDMS polimernek a gyakorlat szempontjából fontos Young-modulusa széles tartományban (240 MPa - 49 GPa) módosítható. Így a PDMS polimerben a kiindulási 3-4 MPa értékhez képest több mint négy nagyságrenddel megnövelték a Young-modulus értékét.

Roncsolásmentes PIXE technikával elemezték hazai múzeumokban őrzött bronzkori aranytárgyak anyagösszetételét együttműködve az MTA BTK Régészeti Intézet Lendület Mobilitás kutatócsoportjával, a Magyar Nemzeti Múzeummal és a Déri Múzeummal. A vizsgálatok célja a különböző nyersanyagcsoportok elkülönítése volt. Az IPERION CH H2020 projekt keretében többek között őskori kőeszközök potenciális nyersanyagforrásait is azonosították. Széleskörű együttműködés keretében vizsgálták a váci Fehérek templomából származó múmiacsontokat is; a PIXE mérés eredményei alapján ólommérgezést állapítottak meg egy 1763-ban elhunyt patikus esetében.

^7Be izotóp szén alapanyagú mintából való előállítására dolgoztak ki módszert, amit sikeresen alkalmaztak többféle mintán. Különböző dózissal besugárzott minták felületét vizsgálva megállapították, hogy a besugárzás tribológiai szempontból nem károsítja a minta felületét.

Meghatározták az alacsonyenergiás izotóptermelő ciklotronok céltárgyrendszerében keletkező ^{161}Tb radioizotóp másodlagos neutronok segítségével történő előállításának optimális paramétereit. Az elért eredmények alapján a terápiás fontosságú ^{161}Tb radioizotóp elérhető lesz a hazai orvos-biológiai kutatóhelyek számára.

Új kísérleti aktivációs hatáskeresztmetszet adatokat határoztak meg töltött részecske-indukált reakciókra, amelyek különböző referencia adatbázisok létrehozását támogatják, segítik a megfelelő elméleti modellek kidolgozását, illetve az adatok gyakorlati alkalmazását is magukban foglalják. A vizsgált céltárgyanyagok: Al, Ti, Mn, Ni, Cu, Ag, Ir, Pt. Meghatározó szerepet vállaltak a NAÜ által indított CRP projektekben és technikai programokban (TC). Elkészítették a NAÜ Pozitron Emitter és Gamma Emitter reakciók adatbázisának új online verzióját. Kísérleti adatokat kompiláltak a NAÜ EXFOR adatbázisába.

Pozitron emissziós tomográfias (PET) módszerek fejlesztését és alkalmazását végezték több területen. Kidolgozták a ^{52}Mn radioaktív PET izotóp rutintermelésre alkalmas radiokémiai elválasztását ioncserés kromatográfiára alapozva. Az így nyert törzsoldattal kukoricapalánták mangánfelvételét vizsgálták miniPET3 kamerával, valamint optimalizálták a folyamat képi megjelenítését. A növények fenotipizálását nagyságrenddel meggyorsító, hibrid kukoricák stressztűrését vizsgáló PET képalkotást fejlesztettek ki. PET alapú módszert alkalmaztak kukoricapalánta fotoszintézisének leképezésére ^{11}C -jelzett szén-dioxiddal. ^{11}C -jelzett metanol energiacellában történő átalakulásának dinamikai vizsgálatát végezték miniPET3 kamerával és kimutatták az energiacella inhomogén működését. Új módszert vezettek be a metanol üzemanyagcella elektro-oxidációs folyamatának leképezésére és analizálására a cella hatékonyságának növelése érdekében.

A 0–100 Gy tartományban a dózistól függetlennek találták a $30Y_2O_3 \cdot 30P_2O_5 \cdot 40SiO_2$ üvegkerámia termolumineszcens dóziszválaszainak relatív érzékenységeit a 3,4 MeV átlagenergiájú d+Be és 12,5 MeV-es d+D neutronok esetén egyaránt. A dóziszválasz gamma-fotonok esetén lineáris, béta-részecskék esetén nem lineáris függvénye a dózisnak. Az anyag alkalmazhatónak tűnik a jövő új nukleáris technológiáihoz használandó üvegkerámia alapú elektromos szigetelők és optikai eszközök (tükrök) sugárkárosodásának monitorozására.

Atom- és molekulafizika

A negatív töltésű ionok kiemelt szerepet játszanak az atomfizikai kutatásokban mivel egy semleges atom egy plusz elektront csak az elektronkorreláción keresztül képes stabil kötött állapotban megtartani. Negatív fluor ionok esetén kimutatták az egy foton által indukált direkt kételektron-leválasztási folyamatot (PDD, Photo Double Detachment), amely a F^- ion 1s-2p héjain levő elektronok közötti korreláció eredményeként valósul meg.

Egy új, nagy intenzitású VUV forrás és a teljes térszögtartományban mérő ESA-22 3D spektrométer segítségével meghatározták a tetrahidrofurán (THF) valencia-fotoelektronjainak energia- és szögeloszlását a 2-13 eV elektronenergia-tartományban. A mért energiaeloszlások jól egyeznek a korábbi adatokkal. A szögeloszlások mérése úttörő munka, a szögeloszlás-adatokra megadták az összes multipólus kölcsönhatást figyelembe vevő, a kísérleti eredményeket jól reprodukáló elméleti leírást is.

Ultrahideg molekuláris gázok csapdába ejtésénél még azon molekulák esetén is nagyok a veszteségek, amelyeknél elvileg csak rugalmas ütközések várhatók. A kis csapdázott részecskeszám az oka, hogy kvantumdegeneráltságot alapállapotú molekuláris gázok esetén eddig nem figyeltek meg. A veszteségeket okozó rugalmatlan folyamatok minimalizálása érdekében két ütköző ultrahideg K és Cs atom olyan lehetséges állapotait térképezték fel, amelyek lézeres gerjesztésével elérhető, hogy az ütköző felek olyan nagy távolságban maradjanak egymástól, ahol már a rugalmas folyamatok dominálnak.

A molekulafragmentációs vizsgálatokhoz használt elektrosztatikus spektrométerek alsó energiakorlátja kb. 2 eV, ugyanakkor számos alapkutatási probléma és alkalmazás (pl. űrfizika) esetén a 0.1 – 2 eV tartomány kiemelkedő fontosságú. Ennek lefedésére kifejlesztettek egy repülési-idő mérőrendszert a molekulatöredékek energia- és szögeloszlásának méréséhez. Ebben a molekulatöredékek szabad térben repülnek egy kétdimenziós detektor felületére. Első mérésenként 20 keV $O^{2+} + H_2$ ütközésekben határozták meg a kirepülő protonok eloszlását 35°-tól 145°-ig terjedő megfigyelési szögeknél, és jó egyezést kaptak a korábban általuk kifejlesztett statisztikus ütközési modell jóslataival.

A nagy töltésű ionok előállítását legfőképpen az ionforrások plazmájának instabilitása korlátozza. Az Atomki nehézion ECR ionforrásán egy úttörő mérésorozatot hajtottak végre 2018-ban, együttműködésben az olasz INFN/LNS intézet (Catania) kutatóival. A speciálisan átalakított plazmakamrát diagnosztikai eszközparkkal vették körbe (detektorok, kamerák, szondák), melyekkel nemcsak észlelni, hanem egy jól definiált „instabilitás-erősség” bevezetésével kvantitatíve jellemezni is tudták a plazma instabilitásait. Ezáltal sikerült megérteni az in-

stabilitások kialakulását, ami lehetővé tette azok gyakoriságának és intenzitásának csökkentését is.

A hideg ionizált közegek (HIK: csillagközi molekuláris köd, bolygó légköre, laboratóriumi és fúziós plazmák) kinetikus modellezése elektronok által gerjesztett molekuláris folyamatokon alapszik. Figyelembe véve a direkt és nem direkt (rezonáns) mechanizmusokat, sokcsatornás kvantumdefektuson alapuló módszerrel meghatározták néhány HIK-ben releváns molekulaion disszociatív, rekombinációs és gerjesztési hatáskeresztmetszetét, és becslést adtak a keletkezett (gyakran metastabil) atomi fragmentumok előfordulási valószínűségére.

Szinkrotron (PETRA III) foton-nyalábjával vizsgálták C^{1+} ionok egyszeres és többszörös fotoionizációját ($C^{1+} + h\nu \rightarrow C^{1+n*} \rightarrow C^{1+n} + ne$, $n=1, 2, 3$) a K-héj rezonáns gerjesztésnek megfelelő fotonenergia környezetében ($h\nu=250-330$ eV). A mérések megnövelt pontosságának köszönhetően egy sor eddig meg nem figyelt rezonáns gerjesztett állapotot találtak. Ez az eredmény mind asztrofizikai, mind élettudományi szempontból releváns.

Elméleti vizsgálatokat végeztek a H és He atomok és a H_2 molekula protonokkal kiváltott ionizációjára vonatkozóan. A számolásokat az általuk továbbfejlesztett, klasszikus pályák számításán alapuló Monte Carlo (CTMC) módszerrel, illetve a folytonosan torzított hullámú, eikonál kezdeti állapotú közelítést alkalmazó kvantummechanikai modell keretein belül végezték. A számolt, többszörösen differenciális hatáskeresztmetszetek általában jól egyeznek a kísérleti adatokkal. 1 MeV-es proton lövedék esetén a klasszikus és kvantum-számolások eredményei egymással is és a nagyon pontos kísérleti adatokkal is kiváló egyezést mutatnak.

Felületfizika

Felületkémiai vizsgálatokkal, röntgen-fotoelektron spektroszkópiával (XPS) tanulmányozták a hangyasavas elektro-oxidációs üzemanyagcellákban anódként használt, ZrO_2 -al dekorált és hidrotermális módszerrel funkcionálizált, sokfalú szén nanocsövekre (f-MWCNT) polyol módszerrel leválasztott nano-szemcsés AuPd katalizátor aktivitását és stabilitását. Megállapították, hogy a ZrO_x nem sztöchiometrikusan kötődik a nanocsövekhez, a kötés karboxil csoporttal valósul meg (Zr-O-C kötés alakul ki). Az AuPd nanorészecskék hármas szerkezetet mutatnak (Pd/AuPd/Au). A kémiai kötésük alapján fémes Pd, oxidált Pd (PdO , PdO_2), valamint Pd-O-Zr fázisokban vannak jelen a f-MWCNT felületen.

A reflexiós elektronenergia-vesztés módszerrel alkalmazták spektroszkópiai feladatokra. Átmeneti fémek (Cr, Co, Pd) optikai állandóit - törésmutatót, extinkciós együtthatót, komplex dielektromos függvényt - határozták meg az energiavesztés függvényéből a Kramers-Kronig analitikus formula alkalmazásával. Grafit mintán 500 – 5000 eV primer energiáknál klasszikus transzportelméletet alkalmazó Monte Carlo szimulációval modellezték a spektrumokat. A rugalmas és rugalmatlan szórás komponensek mellett a szekunder elektronokat is figyelembe véve jó egyezést kaptak a kísérleti adatokkal.

Diffúzió-indukált atomi szigetek kialakulását figyelték meg Ni/Cu nanoréteg felületen. Nanométeres skálájú atomi migrációs folyamatok vizsgálatára egyedi, új mérés technikát alkalmaztak. Méréseikkel alacsony hőmérsékletű nanodiffúziós folyamatok aktivációs energiáit határozták meg, mely adatokat más módszerekkel eddig nem lehetett közvetlen módon megmérni. Azt is kimutatták, hogy a szemcsehatár és a felületi diffúziós folyamatok eredményeként a na-

noszerkezet mélységéből a felületre termikus aktivációval kijutott atomok a felületen - összefüggő atomi réteg helyett, mint ahogy az irodalomban eddig állították - atomi szigeteket formálnak.

Nemzetközi együttműködések keretében kémiai és fizikai módszereket alkalmaztak felületmódosításra különféle funkcionális célokból. Az orvosi implantátum anyagokon bioaktivitás növelése céljából kémiai úton és elektro-spray technikával végrehajtott felületkezelés minősítését végezték felületfizikai módszerekkel. Tanulmányozták a kétkomponensű PbTe, SnTe és GeTe ötvözetek felületi rétegében kisenergiás ionporlasztás hatására végbemenő szerkezeti és kémiai összetételbeli változásokat. Vizsgálták a kiporlasztott anyag visszahullásának és a tömegkülönbségek miatti preferenciális porlasztásnak a szerepét.

Környezettudomány

A recski magmás kőzetek kristályosodási kora eddig nem volt pontosan ismert, azonban a tanulmány részét képező U-Pb mérésekkel ezt sikerült tisztázni: a kristályosodási korok 29,9 és 29,4 millió év közé estek. Az apatit és cirkon (U-Th)/He koradatok alapján sikerült megbecsülni a fedő egykori vastagságát és eróziójának időbeliségét is. Ezek alapján a fedő ~1500 m vastag volt és annak közel teljes mértékű lepusztulása valószínűleg már a késő-miocénig lezajlott.

Cirkon U-Th-Pb és (U-Th)/He kormérések, valamint a petrográfiai és geokémiai vizsgálatok alapján sikerült pontosítani a Dél-Hargita kitorési kronológiáját. A kapott eredmények kimutattak egy jelentős szünetet a vulkáni működésben 1,6 és 1,0 millió év között, amelyhez egy jelentős geokémiai változás is kapcsolódott; az ezt követően felszínre került magmák káliumban és inkompatibilis elemekben gazdagodtak. A területen található 1 millió évnél fiatalabb, kis térfogatú lávadómok esetén a szunnyadási időszakok hossza akár a 100 ezer évet is elérhette, aminek nagy jelentősége van a vulkánveszély-előrejelzések kapcsán is.

A Duluth Komplexum (Minnesota USA) granitoid fekéjében található ércesedés megjelenésével kapcsolatban sikerült megállapítani, hogy annak kialakulása az intrúzióban kialakuló magma áramlási csatornák által létrehozott hőmérsékleti anomáliákhoz kötődik. Azokban az egységekben, ahol a hőmérséklet meghaladta a 900°C-t lokálisan Cu-Ni-Pt tartalmú szulfidolvadék szivárgott a mellékkőzetbe, ott ércesedést létrehozva. A fekézőzet lokális olvadásában a feké/intrúzió fluidumainak F/Cl arányai csak mérsékelt szerepet játszottak.

Elvégezték az 1948-1949-ben az első radiokarbonos kormérésekre használt régészeti anyagok egy részének újramérését. A mérés technika jelentős fejlődése után is, az új eredmények általában jó egyezést mutatnak az 1949-1951-ben közölt eredeti ¹⁴C eredményekkel, illetve a várt korokkal. A négy nemzetközileg elismert laboratórium bevonásával végzett összemérés során egyben bemutatták a módszer jelenleg elérhető legjobb teljesítőképességét is. Új

mérései eredményeket publikáltak olyan egyiptomi leletek esetében, amiket Libby és munkatársai is vizsgáltak a módszer kidolgozása idején.

Az öt kontinensről származó 44 különböző farönk faévgyűrű-sorozataiból származó 484 darab egyedi faévgyűrű minta ^{14}C tartalmát analizálták az i.sz. 770-780, valamint i.sz. 990-1000 közötti időszakokra. Az évgyűrűk abszolút korát az i.sz. 774-ben és i.sz. 993-ban megfigyelhető hirtelen ^{14}C kiugrások alapján hitelesítették. Mindkét félgömbön megfigyelhető volt a kiugrásokat követően egy 11 éves felezési idejű lecsengés. A mérési eredmények alapján a naptevékenységgel összefüggő globális léptékű, erőteljes protonbesugárzási eseményeket feltételeznek ezekben az időszakokban, ami összhangban van az írásos forrásokból ismert vörös sarkifény megfigyelésekkel.

A közép-európai és észak-amerikai területeken kimért, az északi féltekére általánosan vonatkozó standard ^{14}C kalibrációs görbéhez képest jelentős eltolódást mutattak ki az egyidős dél-levantei területről származó növényi maradványokban. Ennek legvalószínűbb oka az eltolódott növekedési időszak lehet, klimatikus behatás mellett. Az eredmény nagy jelentőségű a dél-levantei területen a radiokarbonos régészeti kormeghatározás számára, különösen a nagyfelbontású vizsgálatokban, például a korai Vaskorban. Az új adatsor erre az időszakra akár több évtizedes fiatalodást is hoz a radiokarbon koralibrációban.

A Théra (Szantorini) vulkán kitörése egy meghatározó kronológiai jelző esemény a régészeti kutatások számára. A vulkánkitöréshez köthető, ismert korú faévgyűrű-sorozatokból éves felbontású ^{14}C kalibrációs görbét vettek fel az i.e. 1700–1500 időszakra. Az eredmények eltolódást mutatnak az általánosan használt nemzetközi kalibrációs görbéhez képest, ami a kitörésre mért kalibrált ^{14}C korok elmozdulását hozza az i.e. 16. század irányába. Ezzel feloldották Théra kitörésével kapcsolatos korábbi ellentmondást a radiokarbon korok (i.e. 17-16. század) és a régészeti adatok (i.e. 16. -15. század) között.

A 2001 óta tartó saját debreceni tríciumméréseik, valamint a Föld különböző helyeiről származó 15 másik csapadék idősor elemzésével elsőként sikerült kimutatniuk, hogy a csapadék kozmogén tríciumkoncentrációja és a Napciklus között egyértelmű összefüggés áll fenn. A tríciumidősorok Fourier-elemzésével sok esetben nem csak a jól ismert szezonális periodicitást sikerült detektálniuk, hanem egy $12,4 \pm 1,8$ éves periódust is, amely jól egyezik az utóbbi három Napciklus $10,6 \pm 1,8$ éves átlagos hosszával. Keresztkorrelációs és különféle wavelet analízis vizsgálatok is szignifikáns periódust mutattak a 11 év körüli tartományban.

A Keleti-Kárpátok környezeti és klimatikus változásainak meghatározásához szükséges nagyfelbontású kronológiai tanulmányt készítettek a romániai Mohos-tőzegláp 11 méteres fúrászelvényén. Ilyen részletességű kronológia kárpát-medencei tőzeglápból korábban még nem készült. Ehhez egy viszonylag új módszert, a tőzeg cellulózából történő radiokarbon meghatározást vezettek be. Megállapították, hogy a tőzegréteg képződésének kezdete a területen mintegy 12 ezer évre nyúlik vissza. Az adatok feldolgozása lehetővé teszi a Holocén időszak fontosabb klimatikus eseményeinek kimutatását.

A légköri fosszilis többlet CO_2 meghatározása érdekében, tíz éve folyamatosan mérik a CO_2 koncentrációt, illetve annak ^{14}C izotóp tartalmát egy vidéki háttérterületen (115m és 10m magasságokon, Hegyhátsál mellett). Kimutatták, hogy mindkét szinten a légköri CO_2 koncentráció folyamatosan növekedett az elmúlt 10 évben, miközben a minták fajlagos ^{14}C értékei csökkentek. Míg a 115 m-es szinten alig volt észlelhető fosszilis többlet CO_2

szennyezés, addig a 10 m-es szinten a téli időszakokban átlagosan 5 ppm, nyáron pedig 2 ppm körüli többlet fosszilis eredetű CO₂ figyelhető meg.

II. b) Tudomány és társadalom

Az Atomki a 2018. év folyamán a következő rendezvényekkel érte el a nagyközönséget: *Kutatók Éjszakája*, *Fizikusnapok* és látogatócsoportok fogadása.

A *Kutatók Éjszakája* (2018.09.28.) alkalmával egy geokémikus kolléga előadásában elmondta, hogy hogyan jutott el az Atomkiból a Déli-sarkvidékre és milyen nehézségekkel kellett ott szembenézni nap mint nap. Az expedíció során a King George-sziget vulkanikus eredetű kőzeteiből gyűjtöttek mintákat, amelyeket azután elemezték többek között az Atomki kálium-argon (K/Ar) laboratóriumában. A mérések által megismerhető az adott terület geológiai története néhány százezettől néhány százmillió évre visszamenőleg. A közönség létszáma: 46 fő volt.

A *Fizikusnapokat* 39. alkalommal rendezte meg az Atomki (2018.11.19-23.), ezúttal a tudomány határtalanságának jegyében. Az elhangzott négy előadás betekintést adott a kis méretek felé határtalan magfizika és részecskefizika világába, valamint bemutatta a nagy méretek felé határtalan világuirt és annak az ember által ténylegesen vagy műszeresen, esetleg csak elméletileg elért részeit. Ezekre általános iskolástól nyugdíjas korúig jöttek érdeklődők, összesen 214 fő. A hét folyamán a délelőtti órákban csoportok érkeztek összesen 27 iskolából, Debrecenből és egészen távoli településekről, hogy a meghirdetett 26-féle rendhagyó óra valamelyikét meghallgassák. 64 rendhagyó óra hangzott el, melyen összesen 1709 látogatóórát töltöttek az intézetben. 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 398 fő érkezett az intézetbe (általános és középiskolások, egyetemisták, felnőtt érdeklődők) és összesen 892 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 weblapján keresztül megtekinthetők az intézet kutatói által írt ismeretterjesztő cikkek, amelyekből 2017-ben összesen négy jelent meg, főként a *Fizikai Szemle* oldalain.

A *Kutatók Éjszakája* és a *Fizikusnapok* ismeretterjesztő előadásairól készült felvételek elérhetők a legnépszerűbb fájlmegosztó portálon. Az eddig feltöltött videókat 2018 folyamán csaknem 24 ezer alkalommal tekintették meg.

2018 során az Atomki és munkatársai 80 hazai médiamegjelenésben szerepeltek.

III. A kutatóhely új hazai és nemzetközi K+F kapcsolatai 2018-ban

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. Az Atomki munkatársai három új projekthez csatlakoztak a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség (IAEA) szervezésében. A kormányközi szintű kétoldalú kapcsolatok köre két francia együttműködéssel bővült, míg az intézményközi együttműködésekről elmondható, hogy 2018-ban minden kontinensről jelent meg új partner. Ez utóbbi együttműködések jelentős része régészeti és környezetregészeti kormeghatározás, valamint nukleáris környezetvédelmi kutatás, melyek során közel 1300 egyedi minta radiokarbon (^{14}C) mérését végezték el.

Az új hazai együttműködések között kiemelhető a Nemzeti Kiválóság Program keretében a Pécsi Egyetemmel és az MTA Energiatudományi Kutatóközponttal együtt elnyert konzorciális projekt, amely az ELI-ALPS intézményében történő vizsgálatokra való felkészülést támogatja. 2018-ban az Atomki megújította együttműködési szerződését a Debreceni Egyetemmel. Új projektek indultak az ELTE és a Széchenyi Egyetem egyes tanszékeivel is.

A vállalati szférából továbbra is az MVM Paksi Atomerőmű Zrt. a legjelentősebb együttműködő, de új keretszerződés indult a TEVA Zrt-vel is tudományos szolgáltatások nyújtására.

2018-ban az Atomki kutatói szervezték Debrecenben a *Nuclear Physics in Stellar Explosions* workshopot (szeptember 12-14), illetve Budapesten az *International Conference on Many Particle Spectroscopy of Atoms, Molecules, Clusters and Surfaces* konferenciát (augusztus 21-24). Az előbbi rendezvényre mintegy 50 résztvevő érkezett 15 országból, az utóbbira pedig 110 résztvevő 27 országból.

Az Atomki Külső Tanácsadó Testülete 2018. november 20-án tartotta ülését az intézetben, ahol egyebek mellett megismerkedtek az Atomki új külföldi, illetve külföldről hazaérkezett munkatársainak kutatásaival.

A felsőoktatásban való részvétel 2018-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 44 elméleti és 20 gyakorlati kurzust hirdettek meg. A beszámolási időszak folyamán 29 PhD, 8 MSc, 19 BSc és 10 TDK-hallgató témavezetését végezték. Doktori képzésben 52 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 7, illetve 4 ösztöndíjas vett részt ebben a programban.

IV. A 2018-ban elnyert fontosabb hazai és nemzetközi pályázatok rövid bemutatása

- *Alakhoz kapcsolódó új jelenségek az atommagban*, OTKA K128947, 48 hónap, 35 860 E Ft
- *Ionizációs és fragmentációs folyamatok szabad atomokban és molekulákban*, OTKA K128621, 48 hónap, 47 754 E Ft,
- *Konzorcium, társ p.: Az erős kölcsönhatás innovatív vizsgálata a CERN CMS kísérletben*, OTKA K129058, 48 hónap, 11 020 E Ft
- *Szimmetriák az atommagokban: a fenomenológiától a mikroszkópiáig*, OTKA K128729, 48 hónap, 17 900 E Ft
- *Béta-bomlások robbanásos elemkeletkezési folyamatokban*, OTKA NN128072, 48 hónap, 42 268 E Ft
- *Ultrarövid fény- és elektronpulzusokkal indukált atomi és molekuláris folyamatok vizsgálata az ELI-ALPS-nál, módszer- és eszközfejlesztés*, NKFIH 2018-1.2.1-NKP-2018-00010, 48 hónap, 118 906 E Ft
- *Conservation and protection of ecosystems endangered by lack of thermal and freshwater in crossborder area*, ROHU_29, 24 hónap, 450 338 E Ft

V. A 2018-ban megjelent jelentősebb tudományos publikációk

Tóth G, Vértesi T: Quantum States with a Positive Partial Transpose are Useful for Metrology. PHYSICAL REVIEW LETTERS, 120: 020506 (2018)
<https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.120.020506>

Id Betan R M, Kruppa AT, Vertse T: Shadow poles in coupled-channel problems calculated with the Berggren basis. PHYSICAL REVIEW C, 97: 024307 (2018)
<https://arxiv.org/abs/1411.7151>

Bene E, Vértesi T: Measurement incompatibility does not give rise to Bell violation in general. NEW JOURNAL OF PHYSICS, 20: 013021 (2018)
<https://doi.org/10.1088/1367-2630/aa9ca3>

Jentschura U D, Nándori I: Atomic physics constraints on the X boson. PHYSICAL REVIEW A, 97: 042502 (2018)
<https://arxiv.org/abs/1804.03096>

Kovács T G, Vig R Á: Localization transition in SU(3) gauge theory. PHYSICAL REVIEW D, 97: 014502 (2018)
<https://doi.org/10.1103/PhysRevD.97.014502>

Vajta Z, Sohler D, Shiga Y, Yoneda K, Dombrádi Z, Fülöp Z, et al. (38): Proton single particle energies next to ^{78}Ni : Spectroscopy of ^{77}Cu via single proton knock-out reaction. PHYSICS LETTERS B, 782: 99 (2018)
<https://doi.org/10.1016/j.physletb.2018.05.023>

Morales AI, Benzoni G, Dombradi Z, Kuti I, Sohler D, Vajta Z, et al. (63): Is seniority a partial dynamic symmetry in the first $vg_{9/2}$ shell? PHYSICS LETTERS B, 781: 706 (2018)
<https://doi.org/10.1016/j.physletb.2018.04.049>

Yasuda J., Sasano M., Zegers R.G.T., Baba H., Krasznahorkay A.J., Stuhl L., et al. (60): Extraction of the Landau-Migdal Parameter from the Gamow-Teller Giant Resonance in Sn 132. PHYSICAL REVIEW LETTERS, 121: 132501 (2018)
<http://real.mtak.hu/90868/>

Buonomo B, Capitolo E, Capoccia C, De Sangro R, Hunyadi M, Krasznahorkay A et al. (23): The PADME calorimeters for missing mass dark photon searches. JOURNAL OF INSTRUMENTATION, 13 : C03044 (2018)
<http://real.mtak.hu/90871/>

Boso A, Lenzi SM, Recchia F, Kuti I, Nyakó BM, Timár J, et al. (32): Neutron Skin Effects in Mirror Energy Differences: The Case of Mg23 - Na23. PHYSICAL REVIEW LETTERS, 121: 032502 (2018)
<http://real.mtak.hu/90879/>

Ferraro F., Takács M P, Elekes Z, Fülöp Zs., Gyürky Gy, Szücs T., et al. (44): Direct Capture Cross Section and the $E_p = 71$ and 105 keV Resonances in the $Ne_{22}(p,\gamma)Na_{23}$ Reaction. PHYSICAL REVIEW LETTERS, 121: 172701 (2018)
<https://arxiv.org/abs/1810.01628>

Szücs T, Kiss GG, Gyürky G, Halász Z, Fülöp Z, Rauscher T: Cross section of α -induced reactions on iridium isotopes obtained from thick target yield measurement for the astrophysical γ process. PHYSICS LETTERS B, 776: 396 (2018)
<https://doi.org/10.1016/j.physletb.2017.11.072>

Kiss G G, Szücs T, Mohr P, Török Zs, Huszánk R, Gyürky Gy, Fülöp Zs: α -induced reactions on ^{115}In : Cross section measurements and statistical model analysis. PHYSICAL REVIEW C, 97: 055803 (2018)
<http://real.mtak.hu/83804/>

Korkulu Z, Kiss G G, Szücs T, Gyürky Gy, Fülöp Zs, Halász Z, Somorjai E, Török Zs, et al. (12): Investigation of α -induced reactions on Sb isotopes relevant to the astrophysical γ process. PHYSICAL REVIEW C, 97: 045803 (2018)
<https://arxiv.org/abs/1803.07791>

Sarriguren P, Algora A, Kiss G: β -decay properties of neutron-rich Ca, Ti, and Cr isotopes. PHYSICAL REVIEW C, 98: 024311 (2018)
<https://arxiv.org/abs/1808.06437>

Huszánk R, Bonyár A, Kámán J, Furu E: Wide range control in the elastic properties of PDMS polymer by ion beam (H^+) irradiation. POLYMER DEGRADATION AND STABILITY, 152: 253 (2018)
<http://real.mtak.hu/83806/>

Sánchez de la Torre M, Angyal A, Kertész Z, Papp E, Szoboszlai Z, Török Z, Csepregi Á, Szikszai Z et al. (10): Micro-PIXE studies on prehistoric chert tools: elemental mapping to determine Palaeolithic lithic procurement
ARCHAEOLOGICAL AND ANTHROPOLOGICAL SCIENCES, 46: 1 (2018)
<http://real.mtak.hu/90888/>

Tárkányi F, Hermanne A, Ditrói F, Takács S, Szücs Z, Brezovcsik K: Study of activation cross sections of deuteron induced reactions on barium. Production of ^{131}Cs , ^{133}Ba . NUCLEAR INSTRUMENTS & METHODS IN PHYSICS RESEARCH SECTION B-BEAM INTERACTIONS WITH MATERIALS AND ATOMS, 414: 18 (2018)
<http://real.mtak.hu/78359/>

Szilasi Sz, Juhasz L: Selective etching of PDMS: Etching as a negative tone resist.
APPLIED SURFACE SCIENCE, 447: 697 (2018)
<https://arxiv.org/abs/1712.03119>

Müller A, Borovik A Jr, Bari S, Buhr T, Holste K, Ricz S, et al. (12): Near- K -Edge Double and Triple Detachment of the F- Negative Ion: Observation of Direct Two-Electron Ejection by a Single Photon. PHYSICAL REVIEW LETTERS, 120 : 133202 (2018)
<http://real.mtak.hu/90898/>

Sarkadi L: Fully differential cross sections for the single ionization of helium by fast ions: Classical model calculations. PHYSICAL REVIEW A, 97 : 042703 (2018)
<http://real.mtak.hu/90900/>

Biri S., Pálinkás J., Perduk Z., Rácz R., Caliri C., Castro G., et al. (14): Multi-diagnostic setup to investigate the two-close-frequency phenomena. JOURNAL OF INSTRUMENTATION, 13 : C11016 (2018)
<http://real.mtak.hu/90903/>

Moulane Y, Mezei JZ, Laporta V, Jehin E, Benkhaldoun Z, Schneider IF: Reactive collision of electrons with CO^+ in cometary coma. ASTRONOMY & ASTROPHYSICS, 615 Paper: A53 (2018)
<https://arxiv.org/abs/1805.01197>

Rajta I, Vajda I, Gyürky Gy, Csedreki L, Kiss ÁZ, Biri S, et. al (8) Accelerator characterization of the new ion beam facility at MTA Atomki in Debrecen, Hungary. NUCLEAR INSTRUMENTS & METHODS IN PHYSICS RESEARCH SECTION A, 880: 125 (2018)
<http://real.mtak.hu/90908/>

Müller A, Borovik A Jr, Buhr T, Hellhund J, Holste K, Ricz S, et al. (11): Near- K -edge single, double, and triple photoionization of C^+ ions. PHYSICAL REVIEW A, 97: 013409 (2018)
<http://real.mtak.hu/90909/>

Takáts V, Csík A, Haki J, Vad K: Diffusion induced atomic islands on the surface of Ni/Cu nanolayers. APPLIED SURFACE SCIENCE, 440: 275 (2018)
<http://real.mtak.hu/75125/>

Yan M, Csík A, C Yang C, Luo Y, Fodor T, J Ding S: Synergistic reinforcement of surface modification on improving the bonding of veneering ceramics to zirconia. CERAMICS INTERNATIONAL 44: 19665 (2018)

<https://doi.org/10.1016/j.jds.2018.03.002>

Lesiak B, Malolepszy A, Mazurkiewicz-Pawlicka M, Stobinski L, Kövér L, Tóth J, et al. (8): A high stability AuPd-ZrO₂-multiwall carbon nanotubes supported-catalyst in a formic acid electro-oxidation reaction. APPLIED SURFACE SCIENCE, 451: 289 (2018)

<https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2018.04.233>

Lugaro M, Ott U, Kereszturi Á: Radioactive nuclei from cosmochronology to habitability. PROGRESS IN PARTICLE AND NUCLEAR PHYSICS, 102: 1 (2018)

<https://doi.org/10.1016/j.pnpnp.2018.05.002>

Jull A J T, Pearson C L, Taylor R E, Molnar M, Janovics R, Major I et al. (13): Radiocarbon Dating and Intercomparison of Some Early Historical Radiocarbon Samples. RADIOCARBON, 60: 535 (2018)

<http://real.mtak.hu/90919/>

Büntgen U, Wacker L, Galván JD, Arnold S, Arseneault D, Jull AJT, et al. (67): Tree rings reveal globally coherent signature of cosmogenic radiocarbon events in 774 and 993 CE. NATURE COMMUNICATIONS, 9: 3605 (2018)

<https://doi.org/10.1038/s41467-018-06036-0>

Manning SW, Griggs C, Lorentzen B, Ramsey CB, Chivall D, Jull AJT, et al. (7): Fluctuating radiocarbon offsets observed in the southern Levant and implications for archaeological chronology debates. PROCEEDINGS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE UNITED STATES OF AMERICA, 115: 6141 (2018)

<https://doi.org/10.1073/pnas.1719420115>

Pearson CL, Brewer PW, Brown D, Heaton TJ, Hodgins GWL, Jull AJT, (8): Annual radiocarbon record indicates 16th century BCE date for the Thera eruption. SCIENCE ADVANCES, 4: eaar8241 (2018)

<https://doi.org/10.1126/sciadv.aar8241>

Palcsu L, Koltai G, László E, Temovski M, Major Z, Papp L, Túri M, Rinyu L, Jull AJT et al (16): Modulation of Cosmogenic Tritium in Meteoric Precipitation by the 11-year Cycle of Solar Magnetic Field Activity. SCIENTIFIC REPORTS, 8: 12813 (2018)

<https://doi.org/10.1038/s41598-018-31208-9>

Braun M, Zavanyi Gy, Laczovics A, Berényi E, Szabó S: Can aquatic macrophytes be biofilters for gadolinium based contrasting agents? WATER RESEARCH, 135: 104 (2018)

<http://real.mtak.hu/90922/>

Temovski M, Futó I, Túri M, Palcsu L: Sulfur and oxygen isotopes in the gypsum deposits of the Provalata sulfuric acid cave (Macedonia). GEOMORPHOLOGY, 315: 80 (2018)

<http://hdl.handle.net/2437/252591>