

# ÚRKUTATÁSSAL KAPCSOLATOS TEVÉKENYSÉGEK AZ ATOMKI-BAN

Angeli István<sup>1</sup>, Csige István<sup>2</sup>, Fenyvesi András<sup>2</sup>, Kereszturi Ákos<sup>3</sup>, Kiss Árpád Zoltán<sup>2</sup>,  
Molnár József<sup>2</sup>, Rácz Richárd<sup>2</sup>, Szarka Máté<sup>2</sup>, Zilizi Gyula<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Debreceni Egyetem, Természettudományi és Technológiai Kar, Fizikai Intézet, Kísérleti Fizikai Tanszék, Debrecen

<sup>2</sup> HUN-REN Atommagkutató Intézet, Debrecen

<sup>3</sup> HUN-REN Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont Csillagászati Intézet, Budapest

## Bevezetés

Az ATOMKI-ban az 1960-as évektől folynak olyan kutatások és fejlesztések, melyeknek űrkutatási vonatkozásai is vannak. A hazai és nemzetközi programokhoz kapcsolódó munkák eredményei nemcsak a Föld körüli pályákon, hanem a bolygóközi térben valamint a Naprendszer égitestjeinek környezetében és felszínén ember nélkül vagy űrhajósok által folytatott űrtevékenységek szempontjából is fontosak.

A kutatások legtöbbje azt vizsgálja, hogy a kozmikus sugárzási környezet miként hat a világűrbe juttatott anyagokra, élőlényekre és a légkör nélküli égitestek felszínére.

Az ATOMKI részecskegyorsítóinál és <sup>60</sup>Co radioizotópporrásánál ionizációs és atomkilökdései folyamatok útján keltett anyagszerkezeti elváltozások, sugárkémiai folyamatok és sugárbiológiai hatások vizsgálhatók. Plazmák,  $\gamma$ -fotonok, protonok,  $\alpha$ -részecskék, nehezebb ionok és neutronok állnak rendelkezésre a vizsgálatokhoz.

Alább áttekintjük a kutatásokat és néhány eredményüket.

## Egy neutronfizikai alapkutatói eredmény sugárvédelmi és űrkutatási vonatkozása

Az 1960-as években neutronfizikai kutatások vezettek az első olyan eredményre, melynek űrkutatási vonatkozásai is lettek. 1954 és 1967 között a Kossuth Lajos Tudományegyetem Kísérleti Fizika Tanszékét és az ATOMKI-t is Szalay Sándor vezette. Csikai Gyula irányította a két intézmény neutronfizikai kutatásait, melyek egyike a neutronindukált magreakciók hatáskeresztmetszeteinek kísérleti és elméleti vizsgálata volt. Angeli István és Csikai Gyula 1970-ben és 1971-ben publikált egy fizikai modellt, ami igen jó közelítést ad arra, miként függ az atommag tömegszámától és a neutronenergiától az atommag és a neutron között lehetséges kölcsönhatások teljes valószínűségét megadó ún. totális hatáskeresztmetszet. Akkoriban a NASA egyik prioritása a kozmikus sugárzási mezők transzportfolyamatainak és kölcsönhatásainak számítógépes modellezése volt. A neutrontranszport-egyenletük tartalmazta a totális hatáskeresztmetszetet is. A NASA kutatói azonnal felismerték, hogy az Angeli–Csikai-modell [1] használata jelentősen csökkenti a transzportegyenletük numerikus megoldásának idejét és költségét is a dozimetriai és sugárvédelmi feladatok megoldása során.

## Úrdozimetriai kutatások és fejlesztések

Az 1960-as évektől nemzetközileg elismert eredmények születtek az ionizáló részecskék nyomainak fotoemulziókkal, valamint műanyagokból készült filmekkel és lemezekkel történő detektálása területén is az ATOMKI-ban. Az 1980-as évekre a Somogyi György, majd Hunyadi Ilona által vezetett Nyomdetektor Csoport nemzetközi hírűvé vált. Nagy szerepük volt az ionizáló részecskék nyomainak rögzítésére alkalmas olyan szilárdtest nyomdetektorok kifejlesztésében, melyek a kiváló optikai tulajdonságokkal rendelkező CR-39 műanyagból készíthetők. A Magyar Optikai Művek Mátészalkai Gyáregységével megvalósították a MA-ND márkanévű nyomdetektorok gyártását. Az Interkozmosz Programban a Moszkvai Orvosbiológiai Problémák Intézetével együttműködve alacsony földkörüli pályán keringő műholdakra kihelyezett nyomdetektor-kötegeikkel mérték a kozmikus ionsugárzás töltés és energia szerinti eloszlását. Az eredmények alapján meghívták Csige Istvánt a San Francisco-i Egyetemre a NASA LDEF műholdján besugárzott nyomdetektorok kiértékelésére. Az adataik a kozmikus környezetek és hatásaik modellezésére és az űrhajósok sugárvédelmének tervezésére szolgáló szoftverek javítását és a Nemzetközi Űrállomás tervezését is segítették.

## Sugárkárosodási vizsgálatok mesterséges égitestek fejlesztéséhez

ATOMKI-s szakemberek az 1990-es évek végétől vesznek részt műholdfejlesztésekkel kapcsolatos munkákban. Először a svéd HUGIN és MUNIN műholdak elektronikáinak fejlesztésében működtek közre. Egy svéd-magyar program során hozzájárultak az Európai Űrügynökség (ESA) és Svédország együttműködése keretében megépített SMART-1 ionhajtóműves műhold fejlesztéséhez is. Részben az ATOMKI-ban  $\gamma$ -fotonokkal és gyors neutronokkal elvégzett sugárzástűrési tesztek [2] alapján választották ki a memória IC-eket a fedélzeti adattároló egységéhez. A sikert jól mutatta, hogy 2003-ban – útban a Hold felé – a SMART-1 egy különösen intenzív napvihar idején jelentős sugárterhelésnek kitéve haladt át a Föld Van Allen sugárzási övein. Később Hold körüli pályára állt, elvégezte a 2006. szeptember 3-ig tartó feladatait, majd irányítottan a Hold felszínébe csapódott. Több sikeresen pályára állított magyar kisméretű műhold – MASAT-1, MASAT-2, PULI-2, SMOG-P, SMOG-1, MRC-100 (SMOG-2) – elektronikáinak fejlesztéséhez is az ATOMKI-ban történtek meg a  $\gamma$ -fotonokkal végzett, az ionizációs hatások okozta érzékenységeket vizsgáló sugárzástűrési tesztek.

## Sugárvédelmi árnyékoló anyagok vizsgálata

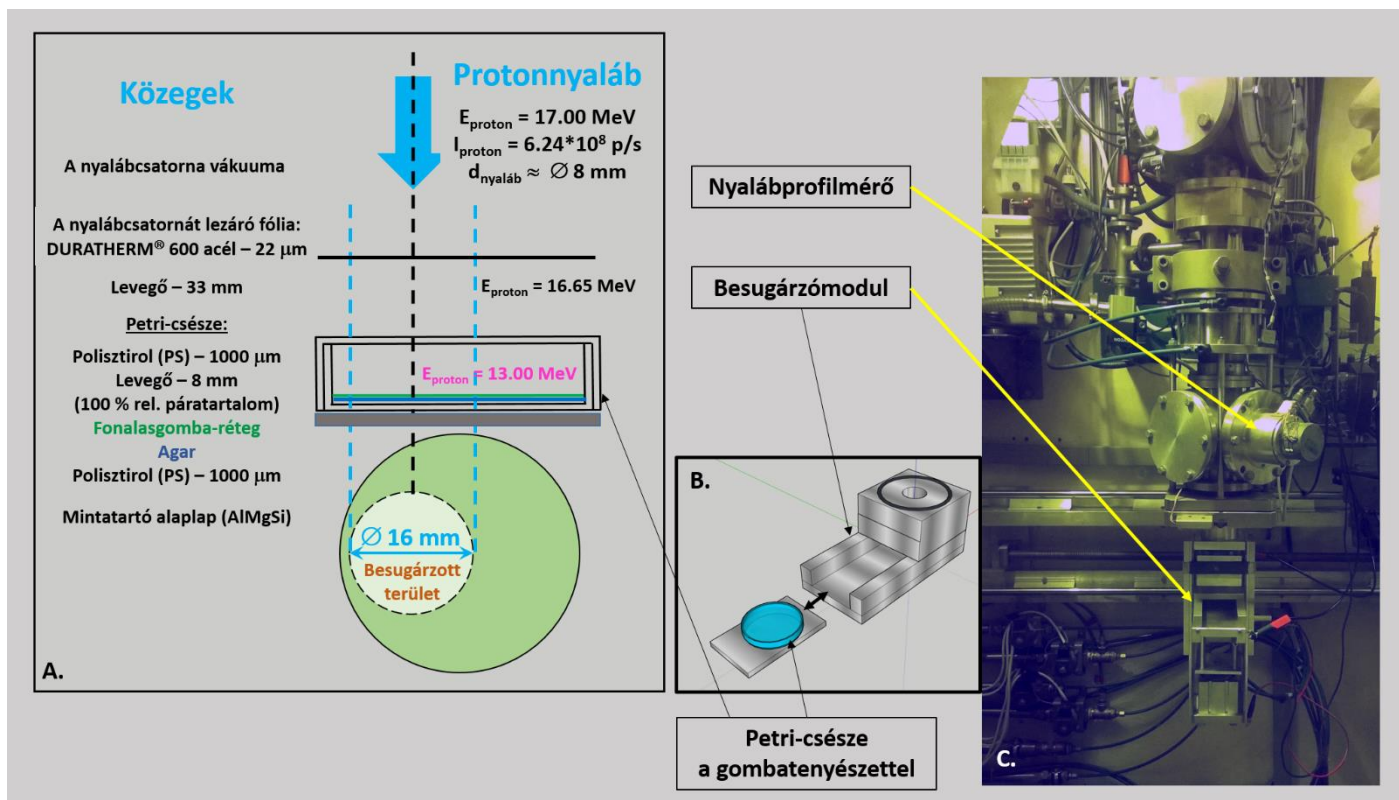
Magyar fejlesztésű, műgyantaalapú szénszálak kompozit anyagok különböző sugárzási környezetekben történő alkalmazási lehetőségeinek vizsgálata is elkezdődött az ATOMKI-ban egyetemi és ipari fejlesztőpartnerekkel közösen. A besugárzási tesztek célja új, könnyű, innovatív kompozit anyagok és szendvicsszerkezetek alkalmazhatóságának vizsgálata az űreszközök fedélzeti sugárvédelmében. A besugárzott mintákon az esetleges felületi és térfogati roncsolódások vizsgálata mellett sor kerül a legfontosabb mechanikai jellemzők (rugalmassági, szilárdsági és törési paraméterek) mérésére különböző részecskefluensektől eredő ionizációs és atomkilökődési hatások és elnyelt dózisosok függvényében.

## Élettani kutatások

Súlytalanságban az izmok leépülnek. Az űrhajósokat ért sugárterhelés és a súlytalanság összetett hatása befolyásolja az izomsejtek működését, módosíthatja azok membránszerkezeteit, melyek kulcsfontosságúak az izom működésében, így ez az izomvesztésre is hatással lehet. A Debreceni Egyetem Élettani Intézete az ATOMKI-val együtt a membránszerkezet sugárkárosodása és az izomsejtek működése közötti összefüggést vizsgálja, hisz ennek feltérképezése segíthet hatékonyabb terápiás megoldásokat találni mind az űrutazás során, mind a földi körülmények között jelentkező izomvesztéssel járó betegségek ellen.

## Sugárbiológiai vizsgálatok

Az űrhajósokkal mikrobák is utaznak az űrhajókon. A kozmikus sugárzás (pl. a napkitörések nagy energiájú protonjai) a mikrobák szervezetében is okozhat elváltozásokat. Jelentősen megváltozhatnak például a mikrobák anyagcsere-folyamatai, vagy megnövekedhet a fertőzőképességük is, ami egészségügyi kockázatot jelenthet az űrhajósok számára. Ezért a Debreceni Egyetem Biotechnológiai Intézete az ATOMKI-val közösen sugárbiológiai vizsgálatokat folytat az *Aspergillus nidulans* fonalagomba mint modellorganizmus felhasználásával. Az ATOMKI gyorsítóinál protonokkal végzett besugárzások (1. ábra) lehetővé tették a biológiai válaszok részletes, a gomba összes génjére kiterjedő vizsgálatát. E változások tanulmányozása kulcsfontosságú az űrhajósok egészségügyi kockázatainak megértéséhez.



1. ábra. (A) Az *Aspergillus nidulans* fonalgomba esetén protonokkal elvégzett sugárbiológiai célú besugárzások elvi elrendezése. (B) A protonokkal végzendő sugárbiológiai kísérletekhez kifejlesztett besugárazómodul. (C) Az ATOMKI MGC-20E ciklotronjánál a függőleges nyalábcsatorna végén kialakított besugárazó elrendezés

## Gyógyszerek sugárkárosodásának vizsgálata

Az űrutazások során az űrhajósokkal utaznak a fedélzeten tárolt gyógyszerek is a kozmikus sugárzási környezetben. Ezért ismerni kell, hogy miként változhatnak meg a gyógyszerek a küldetés időtartama alatt, csökkenhet-e a hatóanyag-tartalmuk és képződhetnek-e az űrhajósok egészségére ártalmas bomlástermékek a fedélzeti kozmikus sugárzási környezetben. Az ATOMKI gyorsítóinál (Tandetron, ciklotron) az Aedus Space Kft.-vel együttműködve olyan kísérletek kezdődtek, melyek keretében az űrutazás során várható kozmikus sugárzási környezetet modellezve gyógyszerek besugárzása történik. Ily módon információkat kaphatunk az űrhajó fedélzetén történő tárolás során várhatóan fellépő elváltozásokról. A kísérletek eredményei segíthetik az olyan készítmények fejlesztését, melyek biztonságosan tárolhatóak és hatékonyan használhatók fel a hosszú távú űrmissziók során mindvégig.

## Kozmikus anyagok vizsgálata nukleáris módszerekkel

Az ATOMKI az 1960-as évektől vesz részt az űrből származó anyagok (kozmoszpor, meteoritok) kutatásában.

A pásztázó nukleáris mikroszondán  $\mu\text{PIXE}$  módszerrel (microscopic particle-induced X-ray emission, mikroszkopikus részecskeindukált röntgenemisszió) mikrométeres feloldású elemterképek készíthetők a vizsgált minta, így a Földön begyűjtött kozmikus anyag fő-, mellék- és nyomelemeloszlásáról. A  $\mu\text{m}$  méretű gömböcskékből (szferulákból) álló kozmikus por jellegzetes elemösszetételének meghatározása jelentősen hozzájárult a perm-triász földtörténeti kor határán bekövetkezett szupernóvarobbanás kutatásával foglalkozó nemzetközi program magyar résztvevőinek sikeréhez. A Barringer-kráter (arizonai meteoritkráter) környékén begyűjtött anyag (szferulák, valamint nem gömbi részecskék) elemanalíziséből meghatározták az ásványi összetételeket, és a nyomelemtartalom vizsgálatából következtetni lehetett a kozmikus eredetre [3].

A kabai meteorit  $\mu\text{PIXE}$ -vizsgálata 1995-ben kezdődött el. A néhány mikrométeres feloldással készült elemterképek és a kvantitatív elemösszetétel meghatározása lehetővé tette a különböző ásványi fázisok jó elkülönítését. Az ATOMKI-ban végzett egyéb vizsgálatok eredményeit is bemutatták a meteor hullásának 160. évfordulóján rendezett konferencián [4].

Az ATOMKI közreműködik a Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont (CSFK) Konkoly-Thege Miklós Csillagászati Intézet azon kutatási programjában (OTKA K\_138594) is, mely a kisbolygókhoz küldendő expedíciók tervezését támogatja. Az űrszondák infravörös színeképelemzőkkel is vizsgálják majd az égitestek felszínét. A mérések értelmezéséhez tudni kell,

hogy a kozmikus sugárzások (pl. a napszél) miként módosítják a kisbolygók felszínének kémiai összetételét, anyagszerkezetét és így az infravörös színképi jellemzőit.

A Naprendszerben a kozmikus sugárzás főleg a Napról származó elektronok, protonok (hidrogénionok),  $\alpha$ -részecskék (He-atommagok) és kisebb részben C, N, O, Si, Fe és más elemek ionjai alkotta plazmák áramlása (napszél). A leggyakoribbak az 1 keV energiájú protonok. Az ATOMKI elektron-ciklotronrezonanciás ionforrásánál végzett besugárzások során a napszél ionjainak hatásai széles ionenergia tartományokban modellezhetők. Meteoritokból vett minták besugárzása történik, melyek anyaga hasonló a kisbolygókéhoz. A besugárzások 10–100 millió évnyi kozmikus sugárzás terhelésének felelnek meg. Az anyagszerkezeti elváltozások vizsgálata a CSFK analitikai eszközeivel történik.

## Összefoglalás

Az ATOMKI-ban számos űrkutatási vonatkozású kutatás és fejlesztés feltételei állnak rendelkezésre. A tevékenységek hazai és nemzetközi partnerek együttműködéseinek keretei között egyaránt végezhető. A <https://atomki.hu/atomki-70> weboldalon a jelen cikkhez kapcsolódó szakirodalmi hivatkozások, továbbá részletes kiegészítő anyagok érhetőek el.

## Irodalom

1. Angeli I.: Totális neutron-hatáskeresztmetszetek tömegszámfüggése; leírásuk féklklasszikus optikai modellel. *Fizikai Szemle*, 1990/10, 290.
2. Molnár J., Fenyvesi A.: Fejlesztések a CMS műondetektorainak helyzetérzékelő rendszeréhez. *Fizikai Szemle*, 2004/2, 47.
3. Uzonyi I., Szöőr Gy., Rózsa P., Pelicon P., Simčič, J., Cserháti C., Daróczi, L. Kiss Á. Z.: Investigation of impact materials around Barringer Meteor Crater by SEM-EDX and micro-PIXE techniques. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* 267 (2009) 2225–2228.
4. Átfogó kutatások a kabai meteoriton. Comprehensive research on Kaba meteorite. *Acta Geoscientia Debrecina 1. különszám* (Debreceni Egyetemi Kiadó), Szerkesztők: Nagy Mihály, Rózsa Péter, McIntosh Richard William, 2018.