

Magyar sugárdózismérések a Nemzetközi Űrállomás fedélzetén (2001–2019)

Hirn Attila

Energiatudományi Kutatóközpont, Űrkutatási Laboratórium

Magyarország már a kezdetektől fogva saját fejlesztésű detektor-rendszerekkel vesz részt a Nemzetközi Űrállomás (ISS) programjában. A tudományos kísérletekben való részvétel mellett az Energiatudományi Kutatóközpont (EK) Pille dózismérő rendszere 2003 óta az orosz szegmens szolgálati dózismérő rendszerének része; emellett az intézet munkatársai több éven keresztül részt vettek az orosz űrhajósok személyi dozimétereinek összeállításában és kiértékelésében is. Az űrdozimetria a hazai űrtevékenység egyik legjelentősebb szegmense. Az ISS-en közel két évtizede folynak ilyen kutatások, így érdemes számot adni az eddigi eredményekről.

Bevezetés

A Napból és a Naprendszeren kívülről érkező nagyenergiájú ionizáló sugárzás, valamint annak a Föld mágneses terével és légkörével való kölcsönhatása eredményeképpen létrejövő másodlagos sugárzás meglehetősen összetett, és energiája sok nagyságrenden belül változhat. A kozmikus sugárzás biológiai károsító hatása (dózisa) az űrutazások egyik legjelentősebb kockázati tényezője, így azt folyamatosan nyomon kell követni. A sugárzás dózisának mérésére számos, különféle elven működő dózismérőt használnak, de egyikük sem alkalmas a sugárzás teljes spektrumának lefedésére. A detektorok kiválasztásánál további szempontokat is figyelembe kell venni, úgymint méretek, tömeg, energiafogyasztás, ár, megbízhatóság, testszövet-ekvivalencia (azaz mennyire hasonlóan „szenvedi el” a sugárzást a detektor anyaga és az emberi testszövet), stb.

Az EK Űrkutatási Laboratóriuma mind a passzív (az expozíció során tápellátást nem igénylő), mind pedig az aktív műszeres dózismérő rendszerek fejlesztésében és alkalmazásában több évtizedes tapasztalattal rendelkezik. Ezek kivétel nélkül nemzetközi – többek között a moszkvai Orvosbiológiai Problémák Intézetével, az orosz RSC Enyergija vállalattal, a Német Légügyi és Űrkutatási Központtal (DLR) és a NASA-val történő – együttműködés keretében valósulnak meg.

A Pille-ISS rendszer

Az Űrtan Évkönyv 2018 kiadványban összefoglaló cikk [1] jelent meg a legismertebb hazai, űrben használt műszerről, a Pilléről annak kapcsán, hogy negyven évvel korábban kezdődött meg a Pille első változatának fejlesztése. Az írásban részletesen kitértünk a Pillével az ISS-en végzett mérésekre, valamint a rendszerrel kapcsolatos legfrissebb fejleményekre, így ezek részletezésétől most eltekintünk.



1. ábra: A 2019 májusában az orosz félnek átadott három univerzális kiolvasó kulcs és hét darab új típusú Pille dózismérő (az A0408 sorszáma az egyik kiolvasó kulcsba helyezve látható)

Passzív detektoros mérések

Annak érdekében, hogy mind a kis ($\leq 10 \text{ keV}/\mu\text{m}$), mind pedig a nagy ($> 10 \text{ keV}/\mu\text{m}$) energialeadású (LET) részecskék dózisát meg lehessen mérni, a $\text{LET} \leq 10 \text{ keV}/\mu\text{m}$ tartományban érzékeny termolumineszcens dózismérőket (ilyenek a Pille dózismérői is) gyakran nyomdetektorokkal egészítik ki, amelyek jellemzően a $10\text{--}1000 \text{ keV}/\mu\text{m}$ energialeadású részecskékre érzékenyek. A nyomdetektorok olyan elektromosan szigetelő átlátszó anyagok – műanyagok vagy üvegek –, amelyekben a nagy energialeadású részecskék roncsolást okoznak. Lúggal történő maratást követően a roncsolt térrészből az anyag eltávolítható, ezáltal a nyomok mérete megnő, így azok optikai mikroszkóp alatt vizsgálhatók. Kalibrációs besugárzásokat és méréseket követően a nyomok méretéből és alakjából a részecske energialeadása meghatározható. A nyomdetektorokat töltött részecske konverterekkel és szűrőkkel kiegészítve olyan összeállítások is készültek, amelyek segítségével az egyébként nehezen mérhető neutrontózis is megbecsülhető.

Az intézet 2001-től a BRADOS, 2010-től pedig az SPD (Set of Passive Detectors) program keretében részt vesz az űrállomás orosz szegmensének dozimetriai feltérképezésében. 2009 óta a DLR által vezetett DOSIS (2012 óta DOSIS-3D) konzorcium tagjaként vizsgálja a dóziseloszlást az ISS európai moduljának (Columbus) belsejében.

A sugárzás dózisa nem csak az űrállomás különböző árnyékolású térrészei között, hanem akár az emberi szervezeten belül is jelentős eltéréseket mutathat. Az űrhajósok testének árnyékoló és konverziós hatása ugyanis módosítja a sugárzási teret. Ennek vizsgálatára emberszerű fantomokat használnak, amelyek a lágy és kemény emberi testszövetekéhez hasonló sűrűségű és összetételű anyagokból épülnek fel. A Matrjoska program keretében, egy nemzetközi konzorcium tagjaként az intézet munkatársai egy detektorokkal felszerelt fantom belsejében, illetve annak „ruházatán” végeztek méréseket. A Matrjoska program első fázisában a fantomot – űrsétát szimulálva – az ISS-en kívül helyezték el, majd azzal később az űrállomás különböző belső moduljaiban (Pirsz, Zvezda, Kibo) végeztek méréseket.

Az Orvosbiológiai Problémák Intézetének kérésére intézetünk éveken keresztül az orosz űrhajósok passzív személyi dozimétereinek összeállításában és kiértékelésében is részt vett. Tekintettel arra, hogy ezen adatok személyi egészségügyi adatoknak minősülnek, nem publikálhatók, legfeljebb statisztikai összesítések adhatók.

Az űrhajósok sugárvédelmét közvetlenül szolgáló mérések mellett az intézet passzív detektoros egységekkel az orosz BioTrack, későbbi nevén Phoenix programban is részt vesz. Ezekben a kísérletekben biológiai minták sugárérzékenységét vizsgálják űrbéli körülmények között, nyomon követve a genetikai állományban bekövetkező változásokat és a túlélési statisztikát. A mintákat különböző ideig tárolják az űrállomás fedélzetén; a velük végig együtt „utazó” detektorokat kiértékelve a mintákat ért teljes dózist, valamint a sugárzási tér leadott energia spektrumát (LET-spektrumát) lehet meghatározni.

A sikeres DOSIS-3D együttműködésnek köszönhetően az EK meghívást kapott a NASA MARE (MATROSHKA AstroRad Radiation Experiment) kísérletében való részvételre. A NASA új, Orion űrhajójának első, egyelőre emberek nélkül végzett Hold körüli próbarepülésén (Artemis-1) az űrhajósok helyére egy-egy emberszerű női fantomot ültetnek, melyek felszínén és belsejében különféle passzív és aktív dózismérőket helyeznek el. Az egyik fantom az izraeli StemRad cég által fejlesztett AstroRad su-

gárvédelmi mellényt fogja viselni, így annak árnyékolási képességeit éles küldetésben is vizsgálhatják. A program az eredeti tervekhez képest csúszásban van, a repülésre reményeink szerint 2020-ban sor kerül.

Mérések a TRITEL rendszerrel

A TRITEL sugárdozimetriai célú háromtengelyű szilícium detektoros teleszkópot az intézet munkatársai a BL-Electronics Kft.-vel együttműködésben fejlesztették. Teleszkóp, illetve részecsketeleszkóp alatt olyan, több detektorból álló detektorrendszer értünk, amelyben a töltött részecskéken koincidencia- és/vagy antikoincidencia-kapcsolás segítségével több mérést is el lehet végezni, vagyis az előre meghatározott feltételrendszernek megfelelően külön lehet választani azon eseményeket, amelyek során a részecske csak a detektorrendszer adott detektoraiban vált ki jelet. A legegyszerűbb teleszkóp két egyforma, egymástól adott távolságra elhelyezett detektorból áll. Amennyiben csak a mindkét detektorban egyidejűleg jelet kiváltó eseményeket tekintjük, akkor lehetőség nyílik arra, hogy csak az egy adott térszögből érkező részecskéket vizsgáljuk. A nagyenergiájú töltött részecskék az anyagon való áthaladásuk során eredeti pályájukhoz képest csak kis mértékben térülnek el. Így – a fenti koincidencia-feltétel mellett a detektorban leadott energia és a teleszkóp látószögéhez tartozó átlagos úthossz ismeretében – az egy-egynyi úthosszon átadott energia, vagyis a LET megbecsülhető.

Az ISS-re fejlesztett TRITEL rendszerek a sugárzási tér irányfüggéséről is információval szolgáló teleszkópot tartalmazó detektor egység(ek)ből, egy adatgyűjtésre szolgáló központi egységből, valamint egy passzív detektoros egységből állnak. Utóbbi arra szolgál, hogy a TRITEL teleszkóp mérési eredményeit a $LET > 100 \text{ keV}/\mu\text{m}$ tartományban kiegészítsük, illetve korrigáljuk. A rendszernek két különböző változata készült el. A TRITEL-SURE az Európai Közösség 6. Keretprogramjának SURE (ISS: a Unique Research Infrastructure) programjának keretében készült el és jutott fel az ISS Columbus moduljára, ahol 2012 novembere és 2013 májusa között üzemelt. A másik, az Orvosbiológiai Problémák Intézetével, valamint az RSC Enyergija céggel együttműködésben megvalósult rendszer (TRITEL-RS) 2013 áprilisában jutott fel az ISS Zvezda modulba, ahol azóta – hosszabb-rövidebb megszakításokkal – végez méréseket. A rendszer központi egysége – a TRITEL-SURE rendszerétől eltérően – nem csak adatgyűjtésre, hanem a mérési adatok fedélzeti megjelenítésére is szolgál. A műszer mérési adatait az űrhajósok a fedélzeten közel valós

időben nyomon követhetik, valamint földi kiértékelés céljából pendrive-ra mentik, és a legénységváltás alkalmával a passzív detektorokkal együtt visszajuttatják a Földre. Az TRITEL teleszkóppal és a passzív detektorokkal végzett együttes mérések eredményei igazolták, hogy az átfedő LET-tartományban (10–100 keV/μm, vízre vonatkoztatva) a kapott LET spektrumok jó egyezést mutatnak.



2. ábra: A TRITEL-RS rendszer az ISS Zvezda moduljában 2019-ben.
(Fotó: Roszkosmosz / RSC Enyergija)

További fejlesztések

Az ISS fedélzetén pár éven belül sorra kerülő Matryoska-III program keretében a fantom belsejében a passzív dózismérők mellett aktív dózismérő rendszerek is helyet kapnak. Intézetünk passzív detektorokkal, valamint további három dózismérő kísérettel (LINTEL-N, LINTEL-P, MTR-PILLE) vesz részt a programban. Ezek fejlesztése folyamatban van. A LINTEL-N teleszkóp segítségével a fantom belsejében termalizált (lelassult és a közeggel termikus egyensúlyba került) neutronok fluxusának mérésére nyílik lehetőség, melynek nyomán a neutron dózissra vonatkozó becslést lehet majd adni. A LINTEL-P teleszkóp a sugárvédelmi szempontból öt kritikus szervnek (szemlencse, ivarszervek, vérképző szervek, központi idegrendszer, valamint emésztőrendszer) megfelelő egyenérték mélységben a protonok és nehezebb töltött részecskék okozta dózisegyenérték mérésére szolgál. Az MTR-PILLE kísérletben új típusú Pille dózismérőkkel mérjük majd a mélységi dózist a Matryoska-III fantom belsejében. Ehhez speciális pozicionáló eszközt is fejlesztünk.

Kitekintés

A passzív dózismérők alkalmazását a NASA – leginkább azok rossz időbeli felbontása, valamint nyomdetektorok esetében jelentős munkaerőigényük miatt – megszüntette; azok használatát több más nemzetközi kutatócsoport is jelentős mértékben csökkentette. Ugyanakkor olcsóságuk, gyors cserélhetőségük és nagy megbízhatóságuk miatt használatuk továbbra is indokolt. Ennek alátámasztására fontos megemlíteni, hogy mind a mai napig csak a Pille dózismérői alkalmasak arra, hogy segítségével a Nemzetközi Űrállomásról végzett űrséták során az űrhajósok többletdózisát meg lehessen mérni. Az űrállomás dózistérképezéséhez, vagyis a térbeli dóziseloszlás meghatározására is elsősorban passzív dózismérőket használnak.

2019-ben több fontos, a hazai űrdozimetriai kutatásokat is érintő bejelentésre került sor. 2019 novemberében az Európai Űrügynökség (ESA) Miniszteri Tanácsülésén Magyarország egyebek mellett feliratkozott az ESA Űrrepülési, Mikrogravitációs és Naprendszer-kutatási Opcionális Programjára. Az ISS programjában való részvételre az űrügynökség egészen 2030-ig elkötelezte magát, a NASA-val karöltve pedig részt vesz az első Hold körüli űrállomás, a Lunar Gateway programjában is. Egy másik fontos bejelentés volt, hogy a magyar–orosz űrkutatási, űrtechnológiai együttműködés keretében hazánk célul tűzte ki, hogy 2024-ben, Farkas Bertalan repülése után 44 évvel ismét magyar kutatóűrhajós dolgozhasson a világűrben. Az előzetes tervek szerint az űrhajós 3–6 hónapot töltene el a Nemzetközi Űrállomás fedélzetén. Ezzel további lehetőségek nyílnak meg a hazai űrdozimetriai kutatás-fejlesztés, valamint adatszolgáltatás terén mind alacsony Föld körüli pályán – az ISS fedélzetén –, mind a Holdat és távolabbi égitesteket célul kitűző emberes űreszközök fedélzetén.

Az EK-ban 2019-ben a magyar–orosz űrkutatási és űrtechnológiai együttműködés keretében folyó munka (űrdozimetriai rendszerek fejlesztése, gondozása, továbbfejlesztése, valamint a mérési adatok kiértékelése) Magyarország Kormánya támogatásával valósult meg (szerződésszám: KKM/43047/2019/Adm.). A DOSIS-3D programban való részvételünket 2019-ben a 4000124183 sz. ESA/PRODEX szerződés keretében finanszíroztuk.

Irodalomjegyzék

[1] Hirn, A., Apáthy, I., Csőke, A., Deme, S. (2019): Pille 40 – egy korszakokon átívelő történet, Űrtan Évkönyv 2018, Asztronautikai Tájékoztató 70: 47-58