

Úrdozimetriai kutatások magyar részvétellel

Strádi Andrea, Szabó Julianna, Pálfalvi József

MTA Energiatudományi Kutatóközpont, Sugárvédelmi Laboratórium, Úrdozimetriai Kutatócsoport, Budapest

Az Energiatudományi Kutatóközpont (EK) kutatói különböző árnyékolási viszonyok között elhelyezett passzív doziméterekkel (szilárdtest nyomdetektorokkal és termolumineszcens detektorokkal) mérték fel a Nemzetközi Űrállomás Columbus moduljában, valamint a Foton-M4 visszatérő műholdon kialakuló sugárzási viszonyokat. A kétféle detektor alkalmazásával az elnyelt sugárzás mennyisége mellett annak minőségére is következtetni lehet, ezáltal az árnyékolás hatékonysága és a kozmikus sugárzási tér inhomogenitása is figyelemmel követhető.

Bevezetés

Az MTA EK Úrdozimetriai Kutatócsoportja hosszú évek óta jelen van azon kutatásokban, amelyekben többek között energiaellátást nem igénylő, passzív dózismérők alkalmazásával vizsgálják az űrbeli sugárzási teret. Ilyen eszköz például a jól ismert Pille is. A passzív detektorok kis méretűeknek és tömegűeknek, valamint egyszerű, de robusztus kialakításuknak köszönhetően olcsó és megbízható mérést tesznek lehetővé, végeredményként az expozíció teljes idejére integrált abszorbeált dózist adva meg. A 2015-ös évben több nemzetközi programban vett részt a csoport, így például a Nemzetközi Űrállomás Columbus moduljában 2012 óta folyamatosan dozimetriai adatokat gyűjtő Dosis-3D projektben és a Roszkoszmosz, valamint az ESA közös, a súlytalanság hatásait vizsgáló Foton-M4 bioszatellit kísérletének kiértékelésében.

Az ESA 2009-ben DOSIS néven elindított, 2012-től kiterjesztett és átnevezett Dosis-3D kísérletsorozatának célja a Columbus modul belsejében létrejövő sugárzási tér háromdimenziós feltérképezése, aktív és passzív dozimetriai módszerekkel. A 11 pontban elhelyezett passzív detektor csomagokat az egymást félévente váltó asztronauták cserélik, majd a teljes sorozat koordinációjáért felelős Német Légi- és Űrrepülési Központnak (DLR, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt) juttatják el. Az elmúlt évben a hetedik fázisát megkezdő programban 10 ország kutatóintézetei, köztük magyar részről az MTA EK vesz részt.

Hasonló dózismérők kerültek bevetésre a Foton-M4 visszatérő műholdon is, amelynek megpróbáltatásokkal teli 44 napos űrrepülését 2014-ben jelentős médiavisszhang övezte. A kutatócsoport

több ponton, a műhold belsejében és külső felszínén is végzett méréseket. A szeptember elsején történt leszállást követően a detektorok az év végén kerültek vissza a budapesti laboratóriumba, ahol megkezdődhetett azok feldolgozása és az adatok kiértékelése.

Módszer

Az elnyelt dózis mérésére alkalmas, olcsó és hatékony eszközök a szilárdtest nyomdetektorok és a termolumineszcens detektorok (TLD). A TLD-k olyan kristályos anyagokból készülnek, esetünkben lítium-fluoridból, melyekben a sugárzás hatására reverzibilis változások történnek a kristályszerkezetben. A detektorok laboratóriumban történő kiolvasása során magas hőmérsékleten a kristályrács visszarendeződik és eközben az elnyelt dózissal arányos mennyiségű fényt bocsát ki, amely jól mérhető. A kiolvasást követően minden detektort egyénileg kalibrálni kell, amihez egy Cs-137 forrás alkalmazásával ismert dózissal sugározzák be azokat, majd ismételten lemérik. A TLD-k nagy előnye, hogy hőkezelést követően újra felhasználhatók.



1. ábra: A nyomdetektor felszíne 15 óra maratást követően, négyszeres nagyításban.

Az általunk használt nyomdetektorok 1 mm vékony, átlátszó műanyag lapkák. Segítségükkel egy egyszerű elv alapján láthatóvá válnak a kozmikus részecskék. A detektorfelületen apró lyukakat hoznak létre a becsapódó részecskék, amiket kémiai módszerrel (nátrium-hidroxidban való maratás során) fénymikroszkóp számára is látható méretűre lehet kimarni (1. ábra). Az így kialakult roncsolt zónák a nyomok, amelyek geometriai paramétereinek (például átmé-

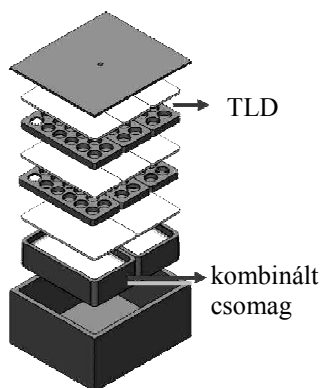
rő, hossz, mélység) mérésével és az adatok megfelelő processzállásával következtethetünk a részecskék fajtájára és energiájára, ezáltal a detektort ért dózisra. Mivel a kozmikus sugárzás komponensei igen sokfélék, ezért többlépcsős maratás során lehet igazán jól elkülöníteni a nagyobb és kisebb energia leadására képes részecskéket. Hat órás maratást követően az előbbieket, míg további 9 óra maratás, tehát összesen 15 óra után az utóbbiak válnak mérhetővé.

Az abszorbeált dózis számításakor a különböző komponensek egységnyi úthosszon leadott energiáját (LET, Linear Energy Transfer) vesszük figyelembe. A TLD-k főleg a $10 \text{ keV}/\mu\text{m}$ -nél kisebb, míg a nyomdetektorok az ennél nagyobb LET-ű sugárzásra érzékenyek. Az elnyelt sugárzás mennyiségére és minőségére vonatkozó számítások az NCRP (National Council on Radiation Protection & Measurements) 137-es jelentése [1] és Pálfavi (2009) ajánlásai [2] alapján történnek.

Eredmények

Dosis-3D

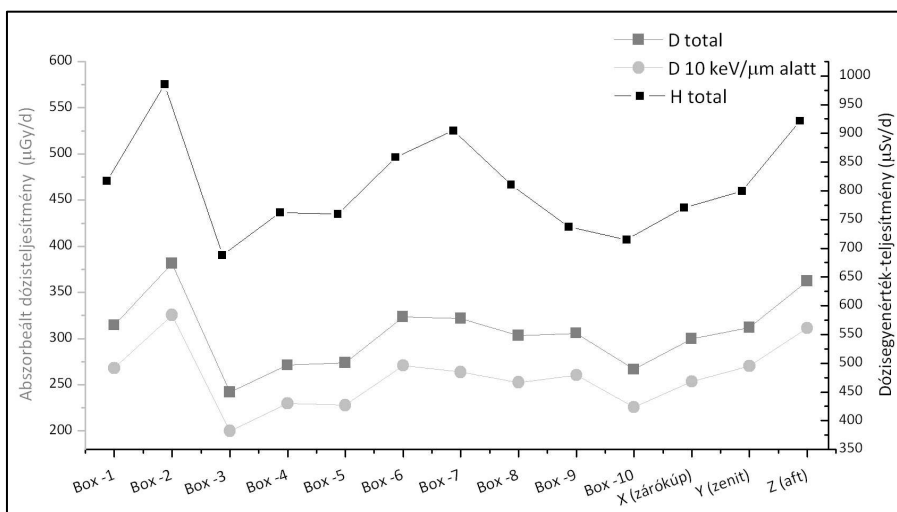
A Columbus modul belsejében 11 pontban elhelyezett dózismérő csomagok TLD, valamint kombinált TLD és nyomdetektorok által alkotott egységeket tartalmaztak (2. ábra). A tizenegyedik lokációban egy ilyen nagyobb dobozt az oldalain kisebb csomagokkal (X, Y, Z irányban) körülvéve helyeztek el, annak érdekében, hogy a sugárzási tér esetleges irányultságát lehessen megfigyelni.



2. ábra: Doziméter csomag.

A program kezdete a 24. napciklus elejére esett, így az egymást követő fázisokban lehetőség nyílt a naptevékenység hatásának vizsgálatára. Annak ellenére, hogy az utóbbi száz év legeseménytelenebb ciklusa zajlik, a mért abszorbeált dózisok kis mértékben, de

tükrözték a naptevékenység erősödését, majd nagyjából a 2015. év elejétől annak gyengülését. Az eltelt idő alatt az űrállomás magassága is változott. Az első fázis vége előtt érkező Progressz teherűrhajó a közel 400 km-es Föld feletti magasságban keringő állomást több mint 15 km-rel magasabb pályára emelte. Egészen 2014 végéig nagyjából tartották ezt a pályamagasságot, de mivel a 2015. április 28-ára várt Progressz-59P a felbocsátás közben történt meghibásodás miatt nem tudott dokkolni, a magasság a projekt hatodik fázisában csökkenni kezdett.



3. ábra: Dózisteljesítmények a Columbus modulban a Dosis-3D/5 fázisban. A teljes dózisteljesítmény (D_{total} , szürkével) és a $10 \text{ keV}/\mu\text{m}$ -nél kisebb LET-ű sugárzásból származó dózisteljesítmény értékei az elsődleges tengelyen, a teljes dózisegyenérték-teljesítmény (H_{total} , feketével) értékei pedig a másodlagos tengelyen olvashatók le.

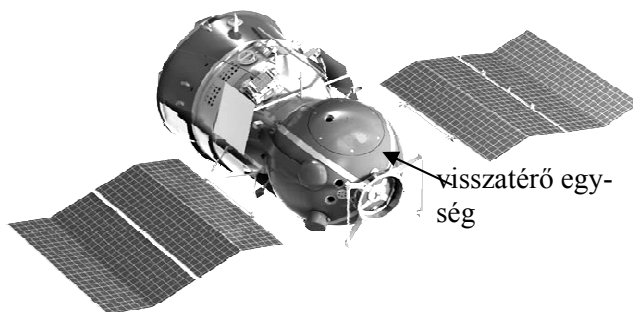
A sugárzási tér irányultságára vonatkozóan a mérések során kiderült, hogy a modul menetirány szerinti hátsó (aft) oldalán a dózisteljesítmény rendre nagyobb, mint a szemközti (forward) falra erősített detektorok esetében. Ennek a jelenségnek az lehet a magyarázata, hogy amikor az űrállomás áthalad a dél-atlanti anomálián, akkor a Föld mágneses tere által befogott protonok hátsó irányból érik a modult, aminek anyagában másodlagos részecskéket keltenek és ezáltal jelentős dózisterhelést indukálnak. A több ponton elhelyezett detektorok árnyékolása is mutatott különbségeket, minden fázisban azonos helyeken, többnyire a Columbus többi modultól távolabb eső végében (zárókúp) volt nagyobb dózis észlelhető. Az egyenként 6 darab TLD-ből és 2 nyomdetektorból álló kombinált csomagok lehető-

vé tették, hogy a kozmikus sugárzást széles LET-tartományban detektálhassuk. A kis és nagy LET-ű komponensek szétválasztását követően az eredmények konvolúciójával a teljes abszorbeált dózisteljesítmény és a dózisegyenérték-teljesítmény értékét lehet meghatározni [3, 4]. Előbbi az ionizáló sugárzás mennyiségét az egységnyi tömegben leadott energia, utóbbi ennek biológiai hatása alapján értékeli. Az 5. fázisban (2014. március–szeptember) mért értékek a 3. ábrán láthatók. Mint az megfigyelhető, a 2-es, 6-os, 7-es és a Z irányba néző csomagokban volt a legnagyobb a dózisteljesítmény, ezek mindegyike a Columbus menetirány szerinti hátsó oldalán volt elhelyezve. Észrevehető, hogy a $10 \text{ keV}/\mu\text{m}$ -nél kisebb LET-ű (a 3. ábrán szürke körök) részecskék dominálják a sugárzási teret.

A teljes dózisteljesítmény (D total, szürkével) és a $10 \text{ keV}/\mu\text{m}$ -nél kisebb LET-ű sugárzásból származó dózisteljesítmény értékei az elsődleges tengelyen, a teljes dózisegyenérték-teljesítmény (H total, feketevel) értékei pedig a másodlagos tengelyen olvashatók le.

Foton-M4

Az orosz CSZKB Progressz szamarai műhelyében készült Foton visszatérő műhold egyenesági leszármazottja a Vosztok űrjárműnek, amellyel Jurij Gagarin utazott, első emberként a világűrben. A megújult szériát 2002-ben mutatták be Foton-M néven, de az első küldetés a start során történt robbanás miatt megghiúsult. 2005-ben a Foton-M2, 2007-ben a Foton-M3, és legutóbb, 2014-ben a negyedik misszió sikeresen hagyta el a bolygót és tért vissza a fedélzetén szállított mikrogravitációs kísérleti rakománnyal. A Foton-M4 napelemekkel és akkumulátorokkal is fel volt szerelve, biztosítva az energiaellátást a tervezett 60 napos utazáshoz (4. ábra).

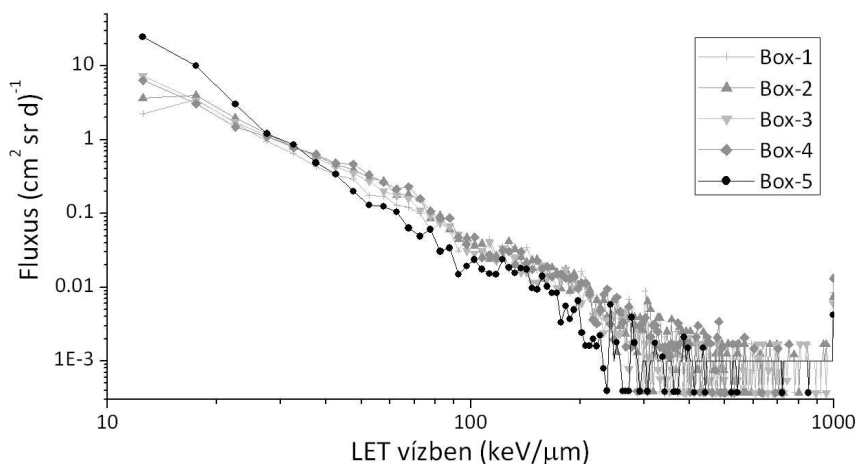


4. ábra: A Foton-M4 műhold.

Mivel azonban a pályakorrekciót végző hajtómű meghibásodott, elnyújtott ellipszispályán ($258 \text{ km} \times 571 \text{ km}$) hagyva a műholdat, a programot 44 nap után fel kellett függeszteni. Annak vizsgálatára,

hogy milyen minőségű és mennyiségű sugárzás éri a visszatérő egységet, a modulon belülré és azon kívülré is detektorok kerültek rögzítésre. A belső térben 4 ponton, különböző árnyékolási viszonyok között dozimetriai csomagok (TLD-k és/vagy nyomdetektorok) voltak elhelyezve alumínium dobozokban, több résztvevő részéről.

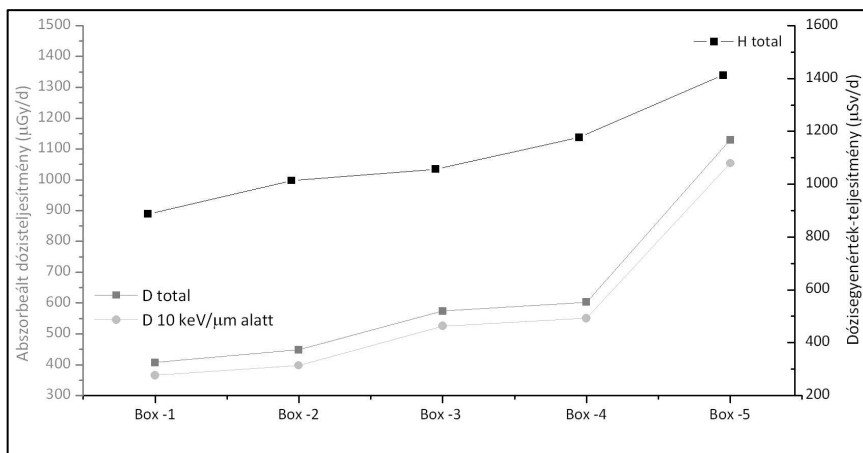
Egy hasonló doboz volt kihelyezve a külső platformon lévő nyitható fedelű konténerek egyikében, így lehetőség nyílt közvetlenül az űrből érkező sugártás detektálására. Az MTA EK kombinált passzív dózismérő egységeivel mért értékek jól mutatják, hogy a belső térben létrejövő sugárzási tér összetételében különbözik a külsőtől. Az 5. ábrán a nyomdetektorral végzett mérésekből származó LET spektrumok láthatók.



5. ábra: A Foton-M4 műholdon mért LET spektrumok. Szürkével a belső detektorokból, feketével a külső detektorból származó eredmények vannak feltüntetve.

Feltűnő, hogy a modul külsején (az ábrán fekete pontokkal jelölve) a kisebb LET-ű részecskék vannak többségben. A kozmikus sugárzás ezen komponensei kis áthatoló képességük miatt a jármű falaiban rövid út megtétele után elnyelődnek. Az is szembetűnő, hogy a modul belsejében az azon átjutó, nagyobb energiájú primer sugárzás nagy LET-ű másodlagos részecskéket kelt, így azok fluxusa jelentősebb a szatelliten belül (az ábrán szürke színnel), mint azon kívül. A TLD méréseket felhasználva számított teljes abszorbeált és dózisegyenérték-teljesítmény értékei a 6. ábrán láthatók.

A Foton-M4 repülése során és azzal egyidőben, a hasonló átlagos magasságban keringő Nemzetközi Űrállomás belsejében (Dosis-3D, 5. fázis) mért dózisok a nagy LET-ű tartományban igen hasonlóknak mutatkoznak (1. táblázat, 1. és 2. sor). Az összes mérési pontra át-



6. ábra: Dózisteljesítmények a Foton-M4 visszatérő műholdon. A teljes dózisteljesítmény (D total, szürkével) és a $10 \text{ keV}/\mu\text{m}$ -nél kisebb LET-ű sugárzásból származó dózisteljesítmény értékei az elsődleges tengelyen, a teljes dózisegyenérték-teljesítmény (H total, feketével) értékei pedig a másodlagos tengelyen olvashatók le.

lagolt, teljes sugárzási spektrumra összegzett dózisteljesítmény azonban a műhold esetében jóval nagyobb, feltehetően a kevésbé hatékony árnyékolás miatt átjutó nagyobb számú kis LET-ű részecske miatt (1. táblázat 3. és 4. sor).

		Foton-M4	Nemzetközi Űrállomás
D ($\mu\text{Gy}/\text{nap}$)	10 keV/ μm LET felett	48 ± 5	48 ± 6
H ($\mu\text{Sv}/\text{nap}$)		574 ± 55	552 ± 58
D ($\mu\text{Gy}/\text{nap}$)	teljes LET tartományra	507 ± 95	305 ± 38
H ($\mu\text{Sv}/\text{nap}$)		1033 ± 119	810 ± 86

1. táblázat: Abszorbeált dózisteljesítmény és dózisegyenérték-teljesítmény értékek a Foton-M4 műholdon és a Nemzetközi Űrállomáson (Dosis-3D projekt, 5. fázis).

A következő Foton-M küldetés várható dátuma még nem ismert, a nagyon hasonló felépítésű Bion-M műhold azonban előreláthatólag az elkövetkező egy-két évben újra bevetésre kerül. A korábbi sikerek nyomán az MTA EK detektorainak feltétlenül helye lesz a „bioszputnyikon”. A csoport munkája a Nemzetközi Űrállomás Columbus moduljában is folytatódik, mivel a Dosis 3D program az Európai Űrügynökség jóvoltából a jelenlegi, 24. napciklus végéig (2018) meghosszabbításra került. Magyarország tehát a jövőben is képvi-

selteti magát az űrkutatás ezen ágában, ami a 2015-ös ESA csatlakozás nyomán várhatóan további izgalmas lehetőségekkel egészül majd ki.

Irodalomjegyzék:

- [1] NCRP Report No. 137, Fluence-Based and Microdosimetric Event-Based Methods for Radiation Protection in Space, 2001
- [2] Pálfalvi J.K. (2009): Fluence and dose of mixed space radiation by SSNTDs achievements and constraints, Radiation Measurements, 44, 724
- [3] Bilski P., Berger T., Hajek M., Reitz G. (2011): Comparison of the response of various TLDs to cosmic radiation and ion beams: Current results of the HAMLET project, Radiation Measurements, 46, 1680
- [4] Hajek M. et al. (2008): Convolution of TLD and SSNTD measurements during the BRADOS-1 experiment onboard ISS (2001), Radiation Measurements, 43, 123