

A Dél-atlanti anomálián való áthaladások időtartamának automatikus meghatározása a TriTel háromtengelyű szilícium detektoros teleszkóppal

Hirn Attila

Magyar Tudományos Akadémia KFKI Atomenergia Kutatóintézet,
H-1121 Budapest, Konkoly Thege Miklós út 29-33.
hirn@aeki.kfki.hu

Determining the time intervals of the South Atlantic Anomaly crossings with the TriTel 3D silicon detector telescope

One of the many risks of long-duration space flights is the excessive exposure to cosmic radiation. The dose equivalent in orbit may be two orders of magnitude higher than that under the shield of Earth's atmosphere. In order to determine the dose equivalent on board different spacecrafts, the development of a 3D silicon detector telescope with almost uniform sensitivity got underway in the Atomic Energy Research Institute (MTA KFKI AEKI) several years ago. The present paper addresses the method of determining in almost real time the time intervals of the South Atlantic Anomaly crossings of the International Space Station.

space dosimetry, three dimensional silicon detector telescope, South Atlantic Anomaly

Az űrhajósok számára az egyik legfontosabb kockázati tényező a hosszú idejű űrrepülések során őket érő, a tengerszinten mérhető háttérsugárzásnál mintegy két nagyságrenddel nagyobb intenzitású kozmikus sugárzás. A kozmikus sugárzás űrállomásokon és egyéb űreszközökön lévő dózisegyenértékének meghatározására jelenleg egy háromtengelyű szilícium detektoros teleszkóp (TriTel) fejlesztése folyik a Magyar Tudományos Akadémia KFKI Atomenergia Kutatóintézetben. A jelen dolgozatban a Dél-atlanti anomáliába történő be-, illetve kilépések – közel valós időben, a TriTel által mért időspektrumok alapján történő – meghatározásának módszerét mutatom be.

űrdozimetria, háromtengelyű szilícium detektoros teleszkóp, Dél-atlanti anomália

BEVEZETÉS

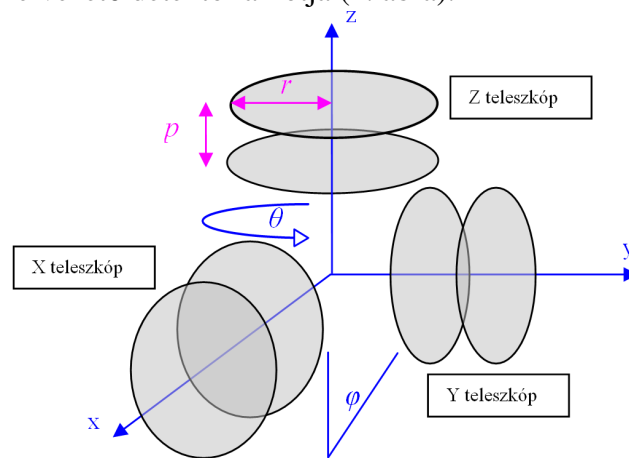
Az űrállomásokon és egyéb emberes űreszközökön folyó sugárvédelmi mérések egyrészt a dózistérkép elkészítését – azaz a dózisteljesítmény helyfüggésének meghatározását – és a dózisteljesítmény időbeli változásának nyomon követését szolgálják, másrészt biztosítják az űrhajósok személyi dozimetriáját. A kozmikus sugárzási tér jellemzői számos tényező – többek között a naptevékenység, az űreszköz pálya menti mozgása, valamint a szerkezeti elemek árnyékoló és konverziós hatása – miatt helyről helyre és időről időre jelentős mértékben változhatnak. Az űrhajósokat érő sugárzás dózisegyenértékének meghatározása szempontjából ezért fontos a kozmikus sugárzás jellemzőinek fedélzeti, folyamatos, valós idejű nyomon követése is.

A HÁROMTENGELYŰ SZILÍCIUM DETEKTOROS TELESZKÓP

A sugárzás intenzitásának, valamint a leadott energiának a mérésére az elmúlt évszázadban számos módszert fejlesztettek ki, melyek között passzív, illetve aktív detektoros módszereket különböztethetünk meg. A passzív detektorokra (például termo- vagy optolumineszcens detektorok, nyomdetektorok, valamint filmdoziméterek) jellemző, hogy anyagukban a sugárzás hatására különféle fizikai vagy kémiai változások mennek végbe. A változás

mértékéből – detektorfajtatól függően – az elnyelt dózisa, a sugárzás intenzitására vagy a részecskék LET-spektrumára lehet következtetni. Tápellátást – passzív detektorok esetében – a detektálás nem, legfeljebb a kiolvasás igényel. Hátrány ugyanakkor, hogy legtöbbjük esetében kiolvasásra kizárólag utólagosan, a Földön nyílik lehetőség, így csak a küldetés teljes időtartamára kiintegrált dózismennyiségek határozhatók meg.¹ A passzív detektoroktól eltérően az aktív detektoros űrdozimetriai rendszerek (félvezető detektoros rendszerek, testszövet-ekvivalens proporcionális számlálók, GM csövek, szcintillációs detektorok stb.) fontos jellemzője, hogy folyamatos tápellátást igényelnek, ugyanakkor segítségükkel a passzív detektorokénál jobb időfelbontás érhető el.

Az elmúlt években – részben a Pille termolumineszcens dózismérő rendszer [1] eredményeire alapozva – egy dozimetriai célú, háromtengelyű szilícium detektoros teleszkóp (TriTel) fejlesztése kezdődött a Magyar Tudományos Akadémia KFKI Atomenergia Kutatóintézet Űrdozimetriai Csoportjában [2]. Az eszköz három ortogonális tengelyének teleszkópjait két-két, egymással párhuzamosan elhelyezkedő, 300 μm vastagságú és 222 mm^2 aktív felületű szilícium félvezető detektor alkotja (1. ábra).



1. ábra. A háromtengelyű szilícium detektoros teleszkóp felépítése ($r = 8,4 \text{ mm}$; $p = 8,9 \text{ mm}$)

A mérések során a teleszkópok két detektorát *ÉS* kapuként használjuk, így a mindkét detektorban jelet adó részecskéket külön detektáljuk, vagyis az ún. kapuzott és a kapuzatlan spektrum egyaránt meghatározható. A kapuzott spektrumból a beérkezett részecskék LET-spektrumát állíthatjuk elő, a detektorokban elnyelt teljes energiámennyiség pedig a detektor anyagának dóziséval arányos. Ahhoz, hogy a testszövetre jellemző elnyelt dózist megkapjuk, szükség van az adatok testszövetre való átszámítására. Az átszámításhoz használt korrekciós tényező értéke függ a részecskék energiájától és LET értékétől is [2]. A korábban a világűrben használt egytengelyű teleszkópokkal szemben a TriTel rendszer nagy előnye, hogy három ortogonális tengelyének köszönhetően a tér minden irányában közel azonosan érzékeny. Aktív műszer lévén a TriTel a sugárzási tér időbeli változásainak nyomon követésére is alkalmas.

A tervek szerint a TriTel rendszer a közeljövőben több kísérletben is részt vesz:

- Az európai SURE (International Space Station: a Unique REsearch Infrastructure) program keretében a TriTel-SURE elnevezésű rendszer a Nemzetközi Űrállomás európai Columbus modulján fog dozimetriai méréseket végezni.

¹ Ez alól kivételt jelent az MTA KFKI AEKI-ben fejlesztett Pille termolumineszcens dózismérő rendszer [1], melynek esetében a rendszer fedélzeti kiolvasójának köszönhetően a dózismérő automata üzemmódban keringésenként (90 perc gyakorisággal) kiolvasható.

- A moszkvai Orvosbiológiai Kutatóintézet (Institute of Biomedical Problems, IBMP) történt megállapodás szerint az IBMP a közeljövőben repülési lehetőséget biztosít a TriTel számára a Nemzetközi Űrállomás orosz Zvezda modulján.
- Az Európai Űrügynökség (European Space Agency, ESA) Oktatási Irodája által elindított ESEO (European Student Earth Orbiter) diákműhold projekt keretében egy 60 cm x 60 cm x 60 cm térfogatú mikroműholdat bocsátanak közel 600 km-es pályamagasságú, kör alakú, napszinkron pályára.² A műhold fedélzetén helyet kap a TriTel műholdas változata is.

A TRITEL NEMZETKÖZI ŰRÁLLOMÁSRA KIFEJLESZTETT VÁLTOZATA

A TriTel Nemzetközi Űrállomásra tervezett változatai (TriTel-SURE és TriTel-RS) – a kedvezőbb tömegre vonatkozó, térfogati és fogyasztási követelmények, valamint az űrhajósok jelenléte révén – a műholdas (TriTel-ESEO), illetve a későbbi űrszondás változatokhoz képest összetettebb fedélzeti adatfeldolgozásra alkalmasak. A mérési adatok tárolásáért, az előzetes fedélzeti kiértékelésért, valamint ezen adatok megjelenítéséért a TriTel központi egysége felelős. Ehhez az egységhez csatlakozik a teleszkópokat, illetve a hozzájuk tartozó jelformáló és adatfeldolgozó egységeket tartalmazó detektoregység.

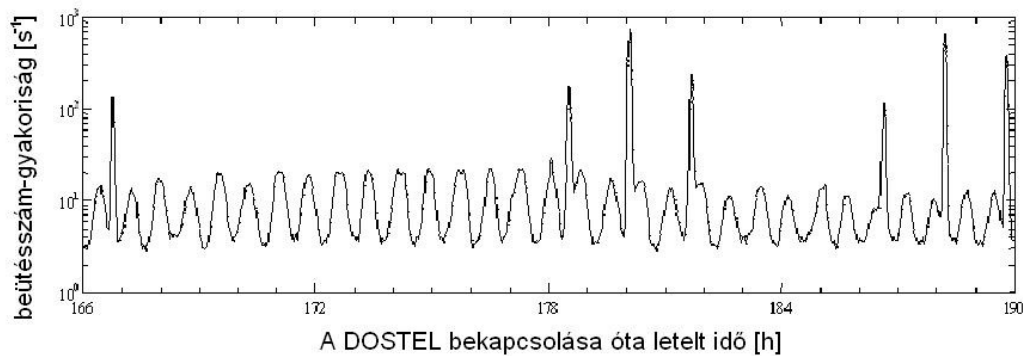
Bolygónk mágneses tengelyének a forgástengelyhez viszonyított elfordulása (~11°) és eltolódása (~500 km) miatt a mágneses tér a Földhöz viszonyítva nem szimmetrikus. A brazil partok és Dél-Afrika közötti térségben a belső sugárzási öv a felszín feletti 200 km magasságig nyúlik le, így az alacsony Föld körüli, közepes vagy nagy inklinációjú pályán keringő űreszközök is áthaladhatnak a belső sugárzási övön. Ezt a kitüntetett térséget elhelyezkedése után Dél-atlanti anomáliának (DAA) nevezték el [3]. A Nemzetközi Űrállomás pályája naponta két időablakban, ablakonként 2-3 fordulat során keresztezi a Dél-atlanti anomáliát (DAA); az egyes időablakok között eltelt idő körülbelül 8, illetve 16 óra. A TriTel által mért időspektrumok alapján a DAA-n való áthaladások közel valós időben azonosíthatók, így a napi leadottenergia-spektrumok a Dél-atlanti anomálián történő áthaladásokra (DAA), illetve a pálya többi szakaszára (nDAA) külön meghatározhatók.

A DÉL-ATLANTI ANOMÁLIÁN VALÓ ÁTHALADÁSOK IDŐTARTAMÁNAK FEDÉLZETEN TÖRTÉNŐ AUTOMATIKUS MEGHATÁROZÁSA

A küldetések során a Dél-atlanti anomáliába történő be-, illetve kilépéseket – közel valós időben – a TriTel által mért időspektrumok alapján lehet meghatározni. A DOSTEL által az 1997 májusában, közel 300 km magasan, az ISS-ével megegyező dőlésszögű pályán keringő Atlantis űrsikló fedélzetén (STS-84-es küldetés) mért időspektrumán (2. ábra) jól látható, hogy a Dél-atlanti anomálián történő áthaladáskor a mért beütésszámok rövid idő alatt a pálya egyéb szakaszain mért értékekhez képest 1-2 nagyságrenddel megnőnek. A pálya Dél-atlanti anomálián kívül eső részein a geomágneses levágás mágneses szélességtől való függéséből eredő periodikusság figyelhető meg; a mágneses egyenlítő felett történő elhaladásoknál a görbének lokális minimuma, a sarkokhoz legközelebb eső részeken lokális maximuma van.

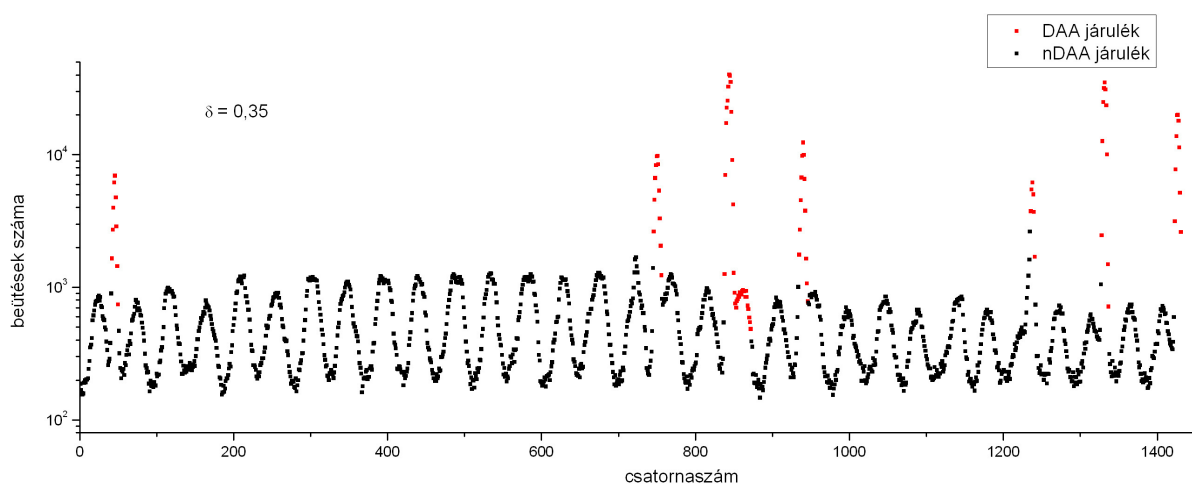
A DAA-n történő áthaladások meghatározásával kapcsolatos számításaimhoz a minta-időspektrumokat az 1997 májusában az Atlantis űrsikló fedélzetén (STS-84-es küldetés), valamint 2003-2005 között a Matrjoska-1 kísérlet keretében az ISS külső platformján helyet foglaló DOSTEL egytengelyű teleszkóp által mért időspektrumok alapján – a DOSTEL és a TriTel geometriai tényezője közötti különbséget, valamint a tengelyek számát figyelembe véve – állítottam elő.

² A napszinkron pálya alatt olyan pályákat értünk, amelyben a műhold pályasíkjának a Nap irányával bezárt szöge nem változik; ez csak $i > 90^\circ$ -os dőlésszögű pályával valósítható meg.



2. ábra: A DOSTEL által 1997 májusában az Atlantis űrsikló fedélzetén (STS-84 küldetés) mért időspektrum egy részlete [4]

Mivel a beütésszámok számos olyan tényezőtől (pl. pályamagasság, naptevékenység stb.) is függenek, amelyek az adott küldetés során is jelentős mértékben változhatnak, javasoltam, hogy a DAA váltásokat ne csak a mért beütésszám alapján, hanem a beütésszám és a beütésszám relatív változásának együttes figyelembevételével határozzuk meg. A DAA és nDAA spektrumok közötti váltásoknak valós időben kell történniük, ezért az ezt megvalósító algoritmust a detektoregység mikroprocesszoros egységében kell megvalósítani. A Dél-atlanti anomálián való áthaladást az úgynevezett DAA flag jelzi, értéke a DAA-n kívül 0. Amíg a DAA flag értéke 0, a beérkezett jelek a Dél-atlanti anomálián kívüli leadottenergia-spektrumokhoz adnak járulékot. A TriTel detektoregysége az időspektrumok csatornáiban az egymást követő 60 másodperces időintervallumokban az adott teleszkópról beérkezett beütések számát regisztrálja. Amennyiben az X-, Y- és Z-tengely csatornatartalmainak összegében bekövetkezett relatív megváltozás egy előre megadott δ értéknél nagyobb, a DAA flag értéke 1-re változik, és ezt követően a beérkezett jelek a Dél-atlanti anomáliában felvett leadottenergia-spektrumokhoz adnak járulékot. A DAA flag értéke akkor vált vissza ismét 0-ra, ha beütésszám a DAA-ba való belépéskor mért beütésszám alá csökken [5]. A 3. ábra a módszer működését mutatja $\delta = 0,35$ esetben az STS-84-es űrsikló küldetés DOSTEL-es méréseiből előállított TriTel minta-időspektrumra alkalmazva.



3. ábra: A DAA-váltás algoritmus a TriTel minta-időspektrumára alkalmazva ($\delta = 0,35$)

A minta-időspektrumok csatornatartalmaihoz véletlenszám-generátor segítségével statisztikus szórászt adva vizsgáltam a δ paraméter változtatásának hatását a DAA-váltásokra. Az a δ érték, amely esetén az adott minta-időspektrumban a téves átváltás valószínűsége

kisebb, mint 10^{-3} , az STS-84 küldetés DOSTEL méréseiből származtatott időspektrumnál 0,34-nak, míg a Matroshka-1-nél 0,25-nak adódott. Az eltérés oka az, hogy az STS-84 küldetés során a DOSTEL egy űreszköz belsejében, jelentős árnyékolás mögött, míg a Matroshka-1 kísérletben méréseket végző DOSTEL a Nemzetközi Űrállomás külső platformján foglalt helyet, így előbbi esetben a kisebb beütésszámok statisztikus szórása miatt a szomszédos időspektrum-csatornák tartalma közötti relatív eltérés jelentősebb lehet.

A vizsgált DAA csúcsok esetében a maximális δ érték 0,3 – 0,8 között közel egyenletes eloszlást mutatott. A rendelkezésemre álló kis számú DAA csúcs miatt a Dél-atlanti anomálián történő áthaladások esetében a Dél-atlanti anomálián kívüli tartományokra elvégzett statisztikai számításokat nem végeztem el. Az előbbieken alapján a δ paraméter előre beállított értékének 0,35-öt javasoltam, az adott küldetésre jellemző optimális érték meghatározása csak az első Földre leküldött spektrumok kiértékelése után lehetséges. A δ paraméter pontos beállítása nem kritikus. Az átváltások során tapasztalható késleltetésekből (az átváltás hatása csak a következő időspektrum-csatorna felvételének kezdetétől érvényesül), illetve a téves oda-, illetve visszaváltásokból származó hibák a Földre leküldött időspektrumok alapján utólag korrigálhatók. Amennyiben mégis szükséges, a δ paraméter értéke a TriTel központi egység szoftvere segítségével módosítható.

ÖSSZEFOGLALÁS

A kozmikus sugárzás dózisegyenértékének meghatározására egy háromtengelyű szilícium detektoros teleszkóp fejlesztése folyik az MTA KFKI AEKI-ben. A TriTel rendszer segítségével az űreszközökön lévő összetett sugárzási tér jellemzőinek meghatározása a korábban alkalmazott módszereknél nagyobb pontossággal valósítható meg. A rendszer a jövőben egy Mars-szondán elhelyezve a bolygóközi emberes repülés előkészítésére is alkalmas lesz.

A fentiekben bemutatott módszer segítségével a Dél-atlanti anomálián történő áthaladások ideje kellő pontossággal és közel valós időben meghatározható. Az átváltások során tapasztalható késleltetésekből, illetve a téves oda-, illetve visszaváltásokból származó hibák a Földre leküldött időspektrumok alapján utólag korrigálhatók.

IRODALOM

- [1] Fehér, I., Deme, S., Szabó, B., Vágvölgyi, J., Szabó, P. P., Csőke, A., Ránky, M., Akatov, Yu. A.: A new Thermoluminescent Dosimeter System for Space Research; Adv. Space Res., 1981, 1, 61-66
- [2] Pázmándi, T., Láng, E., Deme, S., Determination of the radiation weighting factor using silicon telescopes, IRPA Regional Congress on Radiation Protection in Central Europe, Horvátország, ISBN 953-96133-3-7, 2001
- [3] Kivelson, M. G., Russel, C. T., Introduction to Space Physics, Cambridge University Press, 1995
- [4] Burmeister, S., Beaujean, R., Kopp, J., Reitz, G., Data on Radiation Belt and Solar Energetic Particles deduced from Dosimetry in Low Earth Orbits, 5th Workshop on Radiation Monitoring for the International Space Station, Louvain-La-Neuve, Belgium, September 7-8, 2000
- [5] Hirn, A., Űrdozimetriai rendszerek fejlesztése, BME NTI, 2009