

Szilícium detektoros teleszkópok a kozmikus sugárzás mérésére

Deme S^{1*}, Apáthy I.¹, Bodnár L.^{2†}, Csöke A.¹, Hirn A.¹, Pázmándi T.¹, Szántó P.¹, Zábori B.¹

¹MTA Energiatudományi Kutatóközpont, Budapest

²BL-Electronics, Budapest

deme@aeki.kfki.hu

Silicon detector telescopes for cosmic radiation measurements

Abstract. It is the space stations' crew for whom cosmic radiation might cause considerable dose. The Pille instrument was developed about 35 years ago for on-board evaluation of TL dosimeters.

Pille detectors have been used only for measuring the absorbed dose. As a substantial progress in cosmic radiation measurements, the TRITEL silicon detector telescope besides measuring the absorbed dose is also used for determining the dose equivalent of the radiation.

LINTEL, a one-dimensional semiconductor detector telescope, might be a means for the determination of effective dose.. The instrument measures the heavy charged particles at five different depths.

The PENTEL system will be located on the outer surface of the ISS. It will be also capable of measuring the East-West asymmetry of the radiation in the South Atlantic anomaly.

Keywords: space radiation, space station, silicon detector telescope, dose equivalent, effective dose

A kozmikus eredetű sugárzás az űrállomásokon dolgozók esetében jelentős dózist okozhat. A termolumineszcens dózismérők űrállomás fedélzetén történő kiértékelésére mintegy 35 éve dolgoztuk ki a Pille műszert.

A Pille detektorai az elnyelt dózis mérésére szolgálnak. Minőségi előrelépést jelentett a TRITEL szilícium detektoros teleszkóp, amely a sugárzás dózisének mérése mellett a dózisegyenérték meghatározására is alkalmas.

Az effektív dózis meghatározásának eszköze lehet a LINTEL, amely egyetlen teleszkópban hat félvezető detektorból épül fel, és a nehéz töltött részecskék dózisének öt mélységben méri.

Az űrállomás külső felületén elhelyezendő PENTEL rendszer a Dél-atlanti anomáliában még a sugárzás kelet–nyugati aszimmetriáját is mérni tudja.

Kulcsszavak: kozmikus sugárzás, űrállomás, szilícium detektoros teleszkóp, dózisegyenérték, effektív dózis

AZ ÁLTALUNK KIFEJLESZTETT DÓZISMÉRÉSI MÓDSZEREK AZ ŰRÁLLOMÁSON

A kozmikus eredetű – alapvetően proton és kisebb részben alfa-sugárzás – főként az űrállomásokon dolgozók esetében okozhat jelentős dózist. E sugárterhelés mérésére régóta használnak termolumineszcens dózismérőket. A termolumineszcens dózismérők űrállomás fedélzetén történő kiértékelésére mintegy 35 éve a Központi Fizikai Kutatóintézetben dolgoztuk ki a Pille műszert [1]. E műszer továbbfejlesztett változata a Nemzetközi Űrállomás orosz szegmensében jelenleg is szolgálati mérőeszköz.

A Pille detektorai csak az elnyelt dózis mérésére szolgálnak. Ugyanakkor e detektorokkal lehetőség van az űrállomás sok pontjában történő egyidejű dózismérésre. A besugárzott dozi-

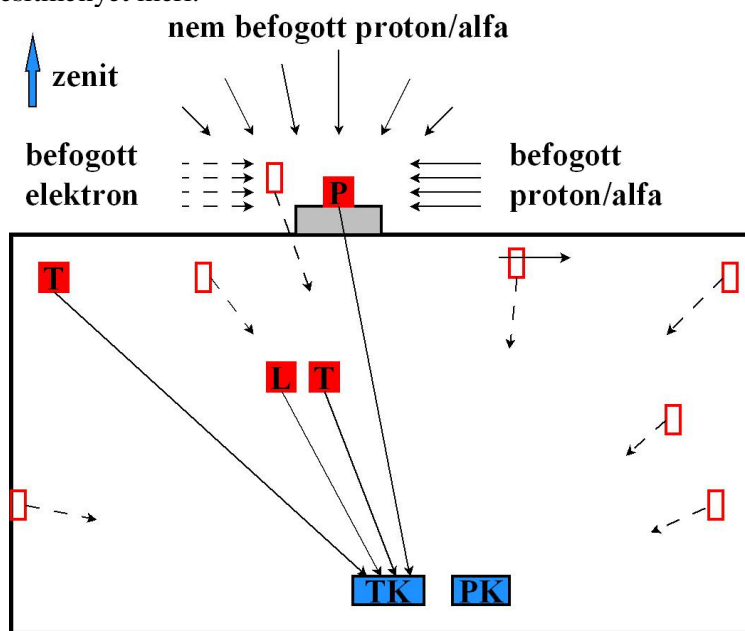
métereket egy közös, fedélzeti detektor kiolvasóval lehet lemérni. A Pille detektor az egyetlen dózismérő típus, amellyel az űrállomáson kívül dolgozó űrhajósok dózisa is lemérhető.

Minőségi előrelépést jelentett az általunk kifejlesztett TRITEL műszer, amely már a sugárzás dózisének mérése mellett a dózisegyenérték meghatározására is szolgál.

A sugárzás mérésének egyik végső célja az effektív dózis meghatározása, melyhez a sugárzás dózisének az emberi testen belüli eloszlását is meg kell határozni. Ennek eszköze lehet a következőkben ismertetendő LINTEL, amely hat félvezető detektorból álló teleszkóp, és a nehéz töltött részecskék leadott lineáris energia spektrumát és dózisteljesítményét hat mélységben határozza meg.

Különleges szerepe lesz az űrállomáson a PENTEL rendszernek, ez öt teleszkóp segítségével – az űrállomás külső felületén elhelyezve – az egyenérték dózis meghatározásán kívül a Dél-atlanti anomáliában (DAA) még a proton, illetve a kisebb jelentőségű elektron sugárzás kelet–nyugati aszimmetriáját is mérni tudja. Ez a mérés az űrállomáson kívüli tevékenység („űrséta”) sugárvédelmi szempontból történő optimalizálását könnyíti meg.

A teljes rendszer tervezett felépítését az 1. ábra mutatja. A TRITEL műszer eredeti formájában egy detektoregységből és egy központi egységből áll. Esetünkben két detektoregység és egy központi egység felhasználásával megvalósítható az űrállomás adott szegmensének sugárzási feltérképezése. Az egyik egység állandó pozícióban az időben változó sugárzási tér monitorozására szolgál, a másik detektoregység pedig a vizsgált hely relatív dózisteljesítményét méri.



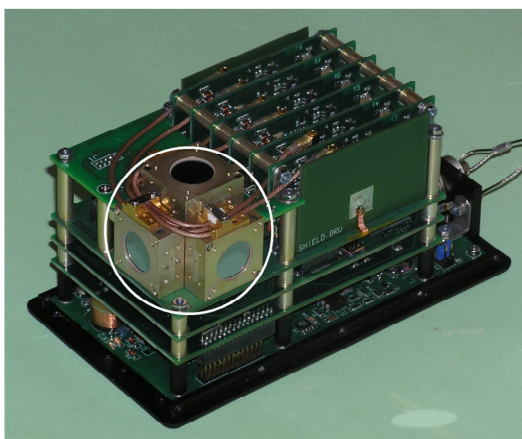
Jelölés: - Pille dózismérő

1. ábra. Az űrállomás komplex dozimetriai mérőrendszere. P – PENTEL detektor, L – a LINTEL detektor, T – TRITEL detektor, TK – a TRITEL, a LINTEL és a PENTEL detektorok közös központi egysége, PK – a Pille detektorok kiolvasója.

Jelenleg már az űrállomáson van két komplett TRITEL műszer, az egyik Európai Űrügynökség (ESA) Columbus moduljában, a másik az orosz szegmensben. A két TRITEL detektoregységeinek együttes, egy központi egységgel történő használata 2013 második félévében várható az űrállomás orosz szegmensében.

A TRITEL DETEKTOR

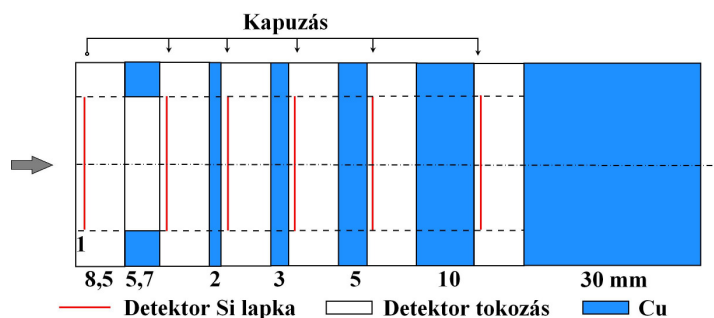
A TRITEL műszer kiindulási alapját a német kutatók által kifejlesztett DOSTEL műszer [2] jelentette. E műszer érzékelője két, egymással párhuzamos, néhány tizedmilliméter vastagságú szilícium detektor. Az egyik detektor mérési, a másik kapuzási célt szolgál. A mérődetektorban leadott energia révén határozható meg a dózis. A kapuzó detektor lehetővé teszi, hogy külön meg lehessen határozni a detektorra közel merőlegesen beeső töltött részecskék energialeadási spektrumát, azaz a lineáris energialeadási (linear energy transfer – LET) spektrumot. Így kiszámítható a sugárzás minőségi tényezője, valamint dózis-egyenértéke. A DOSTEL hátránya, hogy egyidejűleg csak egyetlen tengely irányából érkező sugárzás mérésére használható. Ezt a hiányosságot küszöböli ki a TRITEL műszer (2. ábra), a három ortogonális tengely szerint mérő, két-két egymással párhuzamos szilícium detektorból álló teleszkóp [3]. A TRITEL műszert, valamint felhasználásával az űrállomáson végzett mérések eredményét a [4] közlemény ismerteti.



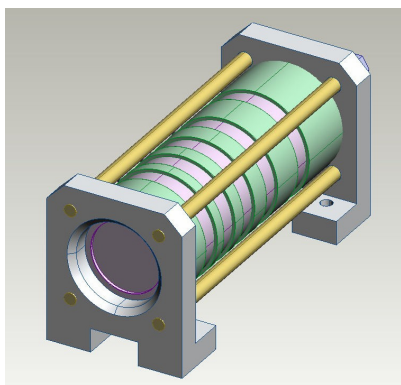
2. ábra. A TRITEL műszer fényképe. A három teleszkóp a fehér körben látható

A LINTEL DETEKTOR

A TRITEL a tér adott pontjára vonatkozó dózisteljesítmény és a LET spektrum mérésére révén a dózisegyenérték meghatározására alkalmas. Az effektív dózis becsléséhez vagy a sugárzás energiaspektrumát, vagy a dózisegyenérték mélység szerinti eloszlását kell ismerni. Ez utóbbi feladat elvégzésére dolgoztuk ki a LINTEL hatdetektoros teleszkópot. A detektoregység elvi vázlatát a 3. ábra, kiviteli rajzát a 4. ábra mutatja.

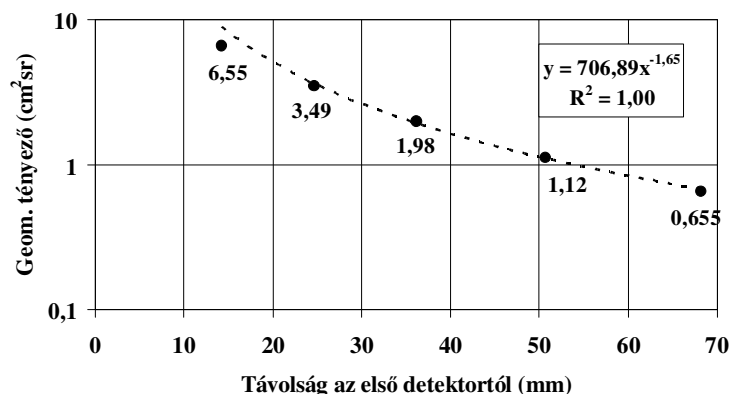


3. ábra. A LINTEL detektoregységének elvi vázlata. Az egység bal szélső detektora kapuzza a további öt detektort, amelyek a különböző abszorbensek mögötti dózisegyenértéket mérik



4. ábra. A LINTEL detektoregység
kiviteli raiza

A hat, 300 μm vastag, teljesen kiürített rétegű szilícium detektor egy közös tengely mentén helyezkedik el. A nyíl felőli első detektor (3. ábra) a leadott (LET) energiaspektrum mérése mellett a többi detektor kapuzására is szolgál, ennek révén "elektronikus" kollimációt tudunk elérni. A teleszkóp 2–6. detektora nagyrészt csak a nyíl irányából beeső nehéz töltött részecskéket (a protonokat és az alfa-részecskéket) méri. Az első detektorpár átmérő/detektor távolság aránya – az 5,7 mm-es távtartó gyűrű révén – megfelel a TRITEL detektorpárjának, így a mérések a TRITEL mérésekkel könnyen összevethetők lesznek. A második detektor után rendre 2, 3, 5 és 10 mm-es vastagságú, az ólomnál is nagyobb lineáris energiaelnyelésű vörösréz abszorbensek vannak. Az utolsó, 30 mm-es abszorbens a hátoldal felől érkező sugárzás árnyékolására szolgál. A nyíl felől érkező nagyenergiájú részecskék csak akkor adnak jelet a 2–6. detektorokban, ha a részecske átmegy az 1. detektoron is. Az 5,7 cm^2 -es effektív felületű detektorok geometriai hatásfokát a belépő detektortól mért távolság függvényében a 3. ábra geometria feltételei mellett az 5. ábra adja meg.



5. ábra. A LINTEL 2–6. detektorainak geometriai hatásfoka az 1. detektortól mért távolság függvényében. Az illesztési függvény csak a 20 mm feletti távolságú detektorokra vonatkozik

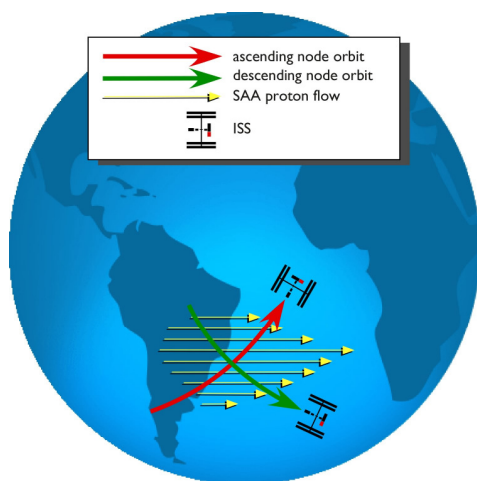
Meghatároztuk, hogy a vörösréz abszorbensek proton és alfa-részecske abszorpciója milyen vastagságú testszövet elnyelésnek felel meg. Megállapítottuk, hogy a LINTEL detektor révén a felszíni dózisegységérték mellett meghatározható a testszövet mélydózis protonokra 1,1; 2,9; 5,9 és 12,1 cm-re a testfelszíntől. Az alfa-részecskékre a mélységek közel ugyanekkorák. A felsorolt mélységekben rendre a 34, az 57, a 85 és a 126 MeV-es protonok és a 135, a 228, a 339 és az 504 MeV-es alfa-részecskék nyelődnek el.

Az űrállomás belsejében a személyek a zenithez képest közel szimmetrikus sugárzási térben tartózkodnak, ennek következtében a 12 cm-es testszövet mélységig mért dóziseloszlás alapján jó közelítéssel megbecsülhető az effektív dózis.

A PENTEL DETEKTOR

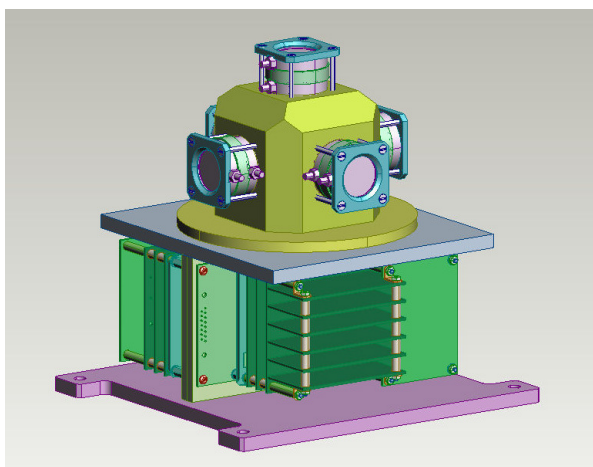
Különleges szerepe lesz az űrállomáson a PENTEL rendszernek, ez öt teleszkóp segítségével – az űrállomás zenit felé eső külső felületén elhelyezve – az űrállomáson kívül fellépő dózisegyenérték meghatározásán kívül a Dél-atlanti anomáliában (DAA) még a sugárzás igen jelentős kelet–nyugati aszimmetriáját is mérni tudja. Ez a mérés az űrállomáson kívüli tevékenység (ÚKT) sugárvédelmi szempontból történő optimalizálását könnyíti meg.

Az ÚKT esetén a dózisterhelés akkor a legnagyobb, ha a munkát a DAA övezetben, az űrállomás nyugat felé eső részén végzik, mert az övezetben a befogott protonok nyugat–keleti irányban, a Föld felszínével közel párhuzamosan áramlanak. Bonyolítja a helyzetet, hogy az űrállomás pályájának felszálló és leszálló ágán az űrállomás ellentétes oldalai esnek nyugati irányba (6. ábra). Emiatt a mérőműszernek bármely irányból jövő sugárzás mérésére alkalmasnak kell lennie.



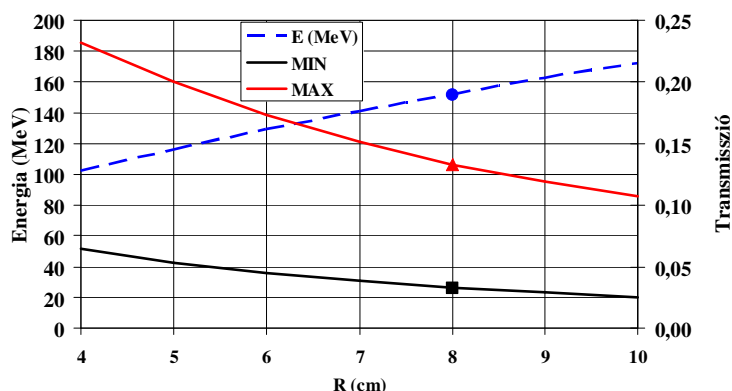
6. ábra. A Nemzetközi Űrállomás DAA-n (az ábrán ISS, illetve SAA) való áthaladása a pálya felszálló (piros), illetve leszálló (zöld) ága esetében. Az ábrán nem jelölt, kisebb jelentőségű elektronok iránya ellentétes a protonokéval (az ábrán SAA proton flow)

A fentiek alapján kialakított öt teleszkópot tartalmazó műszer, a PENTEL burkolat nélküli rajzát a 7. ábra mutatja. A burkolat kialakításánál figyelembe kell venni, hogy az űrhajósok ÚKT esetén használt szkafterén a 10 MeV-nél nagyobb energiájú protonok át tudnak hatolni, ezért a detektorok előtti alumínium burkolat vastagsága legfeljebb 0,5–0,7 mm lehet.



7. ábra. A PENTEL rendszer burkolat nélküli rajza

Az egymással szemben lévő teleszkóppárok között elnyelő falat (négyzet keresztmetszetű rudat) helyezünk el azért, hogy meg lehessen különböztetni a protonok beérkezési irányát. A rúd anyaga célszerűen alumínium, hogy az anyag megegyezzen az űrállomás tipikus falanyagával. A rúd élhosszának meghatározásánál figyelembe vettük, hogy a naptevékenység minimumánál és maximumánál eltérő keménységűek a protonspektrumok. A 8. ábra mutatja be, hogy a tömb vastagságának függvényében mekkora az elnyelt maximális protonenergia és a különböző naptevékenységeknél átjutó protonhányad. Ennek alapján a 8 cm-es alumínium vastagságot választottuk ki, amely a 150 MeV-nél nagyobb energiájú protonokat engedi csak át. A protonok transzmissziója naptevékenység minimumnál 3%, naptevékenység maximumnál 13%. A 8 cm-nél nagyobb vastagságnál a transzmisszió csak kevésbé csökken, viszont a rendszer tömege jelentősen nő. A 8 cm-es alumínium vastagság közelítőleg megfelel az űrállomás kétszeres falvastagságának, így az állomás két oldalán fellépő dózistér is megbecsülhető.



8. ábra. Az alumínium négyzetes hasáb élhosszának (R) megfelelő elnyelt maximális energia (E) MeV-ben és az átjutó protonhányad (transzmisszió) a naptevékenység minimuma (MIN) és maximuma (MAX) esetén

Az űrállomás orosz szegmensében lévő TRITEL központi egység mind a LINTEL, mind a PENTEL műszer detektoregységeinek adatait fogadni tudja.

A PENTEL-nek az űrállomáson történő alkalmazásáról az Energiatudományi Kutatóközpont és a kérdésben illetékes orosz Orvosbiológiai Problémák Intézete 2013 márciusában szándéknyilatkozatot írt alá.

IRODALOM

- [1] I. Fehér, S. Deme, B. Szabó, J. Vágvölgyi, P.P Szabó, A. Csőke, M. Ránky, Yu. A. Akatov. A new thermoluminescent dosimeter system for space research. Adv. Space Res. Vol. 1 pp. 61–66, 1981
- [2] Beaujean, R., Kopp, J., Reitz, G. Active Dosimetry on Recent Space Flights. Radiation Protection Dosimetry, 85, pp. 223-226, 1999
- [3] T. Pázmándi, S. Deme E. Láng. Space dosimetry with the application of 3D silicon detector telescope: response function and inverse algorithm. 14th International Conference on Solid State Dosimetry, New Haven, USA, June 27–July 2, 2004
- [4] Hirn A., Apáthy I., Bodnár L., Csőke A., Deme S., Pázmándi T., Szántó P., Zábori B. Első mérések a TRITEL dozimetriai rendszerrel a Nemzetközi Űrállomás fedélzetén. Nívódíjra benyújtva, 2013