

Horváth István¹ – Tóth Bence²

Nanoműholdak megfigyelései és hatásai katonai és polgári műholdak működésére

Observations of Nanosatellites and their Effect on the Operation of Military and Civil Satellites

A kozmikus gamma-kitörések műholdakról történő megfigyelése az 1960-as évek óta folyik, bár eredetileg a tiltott felszíni atomrobbantásokkal járó gamma-sugárzás detektálása volt a cél. Ennek „melléktermékeként” fedezték fel az univerzum ezen távoli, rendkívüli energiakibocsátással járó jelenségeit. Azonban a Föld irányából is észleltek gammasugár-felvillanásokat, amelyek nem hasonlítottak az atomrobbanásból vártakhoz. Mindezen jelenségek pontosabb tudományos megértésében, mind az eredeti cél, a nukleáris fegyverkezés felderítésében hatékony eszközök lehetnek az úgynevezett nanoműholdak. Emellett a normál műholdakhoz képest olcsóbb feljuttatásuk lehetőséget ad gyakoribb cseréjükre a fedélzeti mérőműszerek gyors fejlődése függvényében. Alkalmasak továbbá az űridőjárás valós idejű monitorozására, amely mind a katonai, mind a polgári műholdak védelmét szolgálhatja a Föld sugárzási zónái váratlan változásainak megfigyelésével.

Kulcsszavak: gamma-kitörés, gamma-sugárzás, nukleáris fegyver, nanoműhold, űridőjárás, katonai műhold

The observation of cosmic gamma-ray bursts from satellites are continuous since the 1960s, though these satellites were originally designed to detect the gamma rays emitted by nuclear bomb tests. The discovery that these events with extreme energy emission occur far from our planet was a “side effect” of this goal. However, gamma-ray flashes from the direction of the Earth were also detected, the nature of which were not resembling the ones from atomic bomb tests. Nanosatellites, compared to normal satellites are cheaper to launch to their orbits and this gives an opportunity to their more frequent replacement as the sensitivity of the measuring devices aboard increases. They are suitable

¹ Nemzeti Közszolgálati Egyetem, Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar, Természettudományi Tanszék, tan-
székvezető egyetemi tanár, e-mail: horvath.istvan@uni-nke.hu, ORCID: 0000-0002-1343-1761

² Nemzeti Közszolgálati Egyetem, Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar, Természettudományi Tanszék, adjunktus,
e-mail: toth.bence@uni-nke.hu, ORCID: 0000-0003-3958-187X

for real-time monitoring of space weather as the detection of the rapid variations in the radiation belts of the Earth has a major impact on the safety of other military and civil satellites.

Keywords: *gamma-ray burst, gamma-ray, nuclear weapon, nanosatellite, space weather, military satellite*

Bevezetés

Az 1960-as években olyan új, az addig ismertektől merőben eltérő tulajdonságú égitesteket, illetve jelenségeket fedeztek fel, mint például a röntgensillagok, a kozmikus háttérsugárzás, a pulzárok, a kvazárok, vagy a gamma-kitörések. Némelyik természetét már felfedezése után néhány évvel megértettük és elméleti modellek születtek leírásukra, mint a kvazárok, a pulzárok és a röntgensillagok esetében. A gamma-kitörések összes típusának mibenléte azonban a mai napig nem tisztázott egészen pontosan, ami annak fényében is figyelemre méltó, hogy ezek az univerzum legintenzívebb elektromágneses sugárzással járó eseményei: 10 másodperc alatt annyi energiát sugároznak ki, mint a mi Napunk egész 10 milliárd éves élettartama alatt.

Ez már önmagában fontossá teszi ezen objektumok tanulmányozását, de már közel két évtizede tudjuk azt is, hogy a kozmikus gamma-kitörések a legtávolabbiak az univerzumban, és így a Világegyetem korai szakaszának hírnökei. Ugyanakkor léteznek a Föld légkörében létrejövő gamma-felvillanások is, amelyek jelentős hatással vannak az űridőjárásra, a műholdak viselkedésére. Cikkünkben ennek a kozmikus és egyszerre légköri jelenségnek, valamint az űridőjárás és monitorozásának katonai és polgári biztonsági vonatkozásait mutatjuk be a magyar űr kutatás egyik potenciálisan fejleszthető ágának, a mikro- és nanoműholdak alkalmazásának aspektusából.

A gamma-kitörések megfigyelése

Kozmikus gamma-kitörések

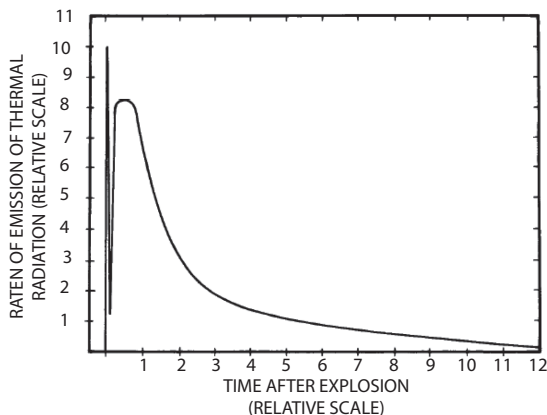
Véletlen felfedezésük

Az Amerikai Egyesült Államok, a Szovjetunió és az Egyesült Királyság 1963. augusztus 5-én írta alá Moszkvában a Nemzetközi atomcsendegyezményt (*Partial Nuclear Test Ban Treaty*, PTBT, teljes hivatalos nevén *Treaty Banning Nuclear Weapon Tests in the Atmosphere, in Outer Space and Under Water*), amelyhez azóta 122 ország csatlakozott, de például Franciaország és Kína nem. Az egyezmény lényege, amit teljes hivatalos neve is tükröz, hogy megtiltja az atombomba-kísérleteket a légkörben, a világűrben és a víz alatt.

Az USA azonban ellenőrizni is akarta, hogy a SZU betartja-e az egyezményt. Ennek érdekében bocsátották fel a tizenkét Vela³ műholdat (hogy egyidejű detektálás esetén háromszögeléssel

³ Az elnevezés nem a latin „vitorla” szóból, hanem a spanyol „velar”-ból származik, aminek jelentése „őr”.

kiszámítható legyen a robbanás pozíciója), amelyek mindegyikén 12 röntgen- és 18 neutron- és gamma-sugárzás-detektor volt elhelyezve, 8–15 fokos térbeli érzékenységgel. A megfigyelések célja a légköri atomrobbantásokra jellemző „kétpúpú” fénygörbe detektálása volt (1. ábra). Egy ilyen detonáció esetében ugyanis először a robbanás tűzgömbjének sugárzását látja a detektor, amely kb. 1 milliszekundumig tart és rendkívül fényes. Ez a fénygörbe első „púpja”.



1. ábra. Egy légköri nukleáris robbantás fénygörbéje

Forrás: GLASSTONE–DOLAN 1977, 41.

Ezután az ionizált gázokból álló lökéshullám „utoléri” a tűzgömb felszínét és, bár maga is jelentős mennyiségű elektromágneses sugárzást bocsát ki, halványabb, mint a tűzgömb, és mivel meglehetősen diffúz és átlátszatlan, eltakarja a sokkal fényesebb tűzgömböt. Ahogy azonban a lökéshullám tágul és hűl, egyre átlátszóbbá válik és ezért a szintén táguló tűzgömb megfigyelhető sugárzása ismét erősebb lesz. Ez a fénygörbe második „púpja”. Ezután a tovább táguló tűzgömb is hűl és halványodik, míg végül teljesen eltűnik.

A teljes folyamat kb. 10 másodpercig tart a bomba nagyságának függvényében, és semmilyen ismert *egyedi* esemény nem képes hasonló menetű görbét produkálni. *Kettős* eseményekről ez elképzelhető, például egy meteor által keltett magaslégtéri szupervillám is ilyen jelet produkálna. Ilyen esemény lehetett talán az 1979-es Vela-esemény vagy Dél-atlanti esemény. Hivatalosan a mai napig nem bizonyosodott be, hogy emberi eredetű robbantás okozta volna a Prince Edward-szigetek és a Crozet-szigetek között megfigyelt jelenséget, bár több jel is erre mutat.

Azonban 1967. július 2-án két Vela műhold egy olyan eseményt detektált, amely semmilyen, addig ismert nukleáris robbanás jelére nem hasonlított. Intenzitása a gamma-tartományban annyira erős volt a röntgentartományhoz képest, hogy ki lehetett zárni, hogy egy röntgenforrás nagyenergiás része legyen. 1969 júliusa és 1971 júliusa között további 16 ilyen eseményt rögzítettek és ezeknek a pontos égi pozícióját is meg tudták határozni, amely egyértelműen nem

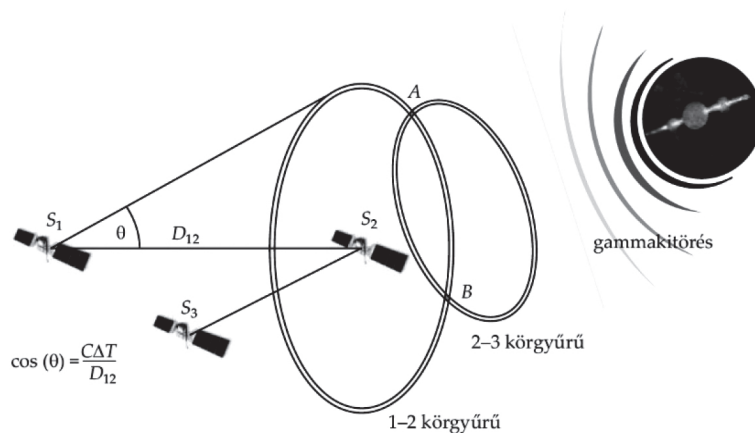
földi eredetre utalt. Az eredményeket, amelyek a közhiedelemmel ellentétben sosem voltak minősített adatok, 1973-ban közzölték az *Astrophysical Journal*-ban.⁴

Céltott kutatás

A felfedezés hírére a napflereket vizsgáló IMP-6 műhold kutatócsoportja⁵ és az OSO-7 műhold megfigyelései⁶ is igazolták a kozmikus gamma-kitörések létezését.

Mivel a földi légkör a gamma-sugarakat rendkívül hatékonyan nyeli el, ezért maradt ilyen sokáig rejtve a kutatók előtt ezen felvillanások léte, és találtak csak rájuk akkor, amikor a légkörön kívülre vittek gamma-sugárzás-detektorokat. Ezután azonban elindult célzott keresésük és vizsgálatuk eredetük meghatározására.

Mivel forrásuk ismeretlen volt, ezért fontos lett volna annak beazonosítása, amely csak pontos pozícióméréssel lehetséges. A helymeghatározás egy detektor esetén csak korlátozottan lehetséges, mivel a rossz irányérzékenység miatt az csak több tíz fok bizonytalansággal tud irányt mérni, így lényegében csak a fotonok beérkezését képes rögzíteni. Megfelelő elektronikával ugyanakkor a beérkezés ténye milliszekundumos pontossággal rögzíthető. Két egymástól távoli detektor megfigyelése esetén a megfigyelt jelek időkülönbségéből az égi helyzet néhány fokkal pontosan meghatározható, pontos lokalizáláshoz minimum három, egymástól távoli műszer egyidejű megfigyelése szükséges.



2. ábra. Egy gamma-kitörés pozíciójának meghatározása

Forrás: HORVÁTH 2016.

⁴ KLEBESADEL–STRONG–OLSON 1973.

⁵ CLINE et al. 1973.

⁶ WHEATON et al. 1973.

Itt a hangsúly az *egymástól távoli* kifejezésen van, amely a mérés szempontjából *időbeli* távolságot jelent: az azonos kitörésből két különböző detektorba több másodperces, még jobb, ha több perces eltéréssel érkeznek be a fotonok. Az elektromágneses sugárzás az űrben gyakorlatilag vákuumban terjed, így a gamma-fotonok által másodpercenként megtett nagyjából háromezer kilométer ez ugyanakkor nagy térbeli távolságot is jelent. A megfigyelőhálózat egy eleme tehát keringhet a Föld körül, de a többi már nem. A német Helios-2 űrszonda, fedélzetén gamma-detektorral, ebben az időben a Nap körül keringett, míg a harmadik mérési pozíció a Vénusz volt: bolygószozmszédunk körül keringett ugyanis három műhold: a szovjet Venyera-11 és -12 és az amerikai PVO (*Pioneer Venus Orbiter*). Ez volt az úgynevezett első bolygóközi hálózat, amely 1980-ig működött. Összesen 84 kitörésre állapítottak meg égi koordinátákat, de a kibocsátás helyén még a legnagyobb távcsövekkel sem találtak semmit.

1990-ben bocsájtották fel az Ulysses szondát, amely 2009-ig, utána 1991-ben a CGRO-t (*Compton Gamma-Ray Observatory*), amely 2000-ig végzett megfigyeléseket, így létrejött a második bolygóközi hálózat, amely lényegében azóta is folyamatosan működik, összességében több mint 27 műhold vagy műbolygó közreműködésével, bár a rendszer aktív tagjai időről időre változnak. A jelenlegi három legfontosabb műhold a 2004-ben fellőtt Swift, aminek a gyors (swift) irányba állás, és így pontos pozíciómérés a legnagyobb erőssége, a Fermi Gammasugar Úrtávcső, amely 2008 óta végez megfigyeléseket, valamint az ESA által 2002-ben felbocsájtott INTEGRAL (*INTErnational Gamma-Ray Astrophysics Laboratory*).

Tulajdonságaik, forrásaik

Amikor már elegendő gamma-kitörés adatai álltak rendelkezésre, felmerült az igény a csoportosításukra. Ez jelen esetben legegyszerűbben a kitörések időtartama szerint volt megtehető: egy-egy nagyobb csoport mutatkozott kb. 0,3 s és kb. 30 s kitöréshossznál. Emiatt a két csoportnak a „rövid” és a „hosszú” neveket adták.⁷ Az is alátámasztotta ezt a felosztást, hogy a rövid kitörések „keményebbek”, azaz nagyobb energiájúak voltak, mint a hosszúak, amik „lágyabbak” voltak.⁸

Az elmúlt két évtizedben azonban a mérések darabszámának növekedésével és egyre pontosabbá válásával statisztikai módszerekkel sikerült elkülöníteni a harmadik „közepes” időtartamú csoportot is,⁹ amely még a hosszú csoportnál is lágyabb kitöréseket tartalmaz.¹⁰

Azonban az égbolton való eloszlásuk semmilyen szabályszerűséget nem mutatott.¹¹ Ahogy a 3. ábrán is látható a CGRO-műhold BATSE nevű műszere által detektált 2704 darab gamma-kitörés pozíciójának ábrázolásából, előfordulásuk a teljes égen egyformán valószínű.

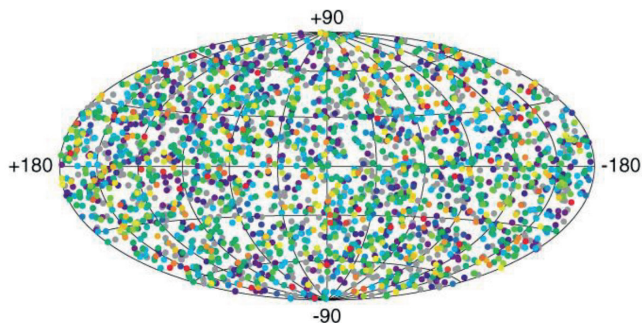
⁷ KOUVELIOTOU et al. 1993.

⁸ HORVÁTH et al. 2004.

⁹ HORVÁTH 1998, 2002, 2003; HORVÁTH et al. 2006.

¹⁰ HORVÁTH-TÓTH 2016; HORVÁTH et al. 2019; TÓTH et al. 2019.

¹¹ HORVÁTH et al. 2015.



3. ábra. A CGRO BATSE műszere által detektált 2704 db gamma-kitörés égi eloszlása. A különböző színek különböző energiartományokat jelölnek.

Forrás: https://heasarc.gsfc.nasa.gov/docs/cgro/cgro/batse_src.html (A letöltés dátuma: 2019. 07. 20.)

A kitörések eredete sokáig megfejtetlen volt. A rövid kitörések esetében (amelyek a kitörések kb. 30%-át adják) egészen 2005-ig utófénylést sem figyeltek meg,¹² így a forrásaik sem voltak beazonosíthatók. Azonban az utófénylések segítségével megállapíthatóvá vált, hogy ezek a kitörések többnyire öreg, elliptikus galaxisokban történtek, a csillagkeletkezési tartományoktól messze.¹³ Így kézenfekvő volt feltételezni, hogy két neutroncsillag vagy egy neutroncsillag és egy fekete lyuk összeolvadásakor jönnek létre.¹⁴ Ezt az elméletet a 2017. augusztus 17-én megfigyelt GRB 170817A jelű kitörés meg is erősítette, annak detektálása ugyanis 1,7 másodperccel a GW170817 jelű gravitációs hullám detektálása után történt azonos égi pozícióban.¹⁵

A hosszú és a közepes kitörések szülőobjektuma azonban jelenleg is kérdéses. A legelfogadottabb elmélet szerint ezek rendkívül nagy tömegű csillagok magjának szupernóvaként való összeroppanásakor jönnek létre.¹⁶ A kitöréseket ugyanis olyan régiókban figyelték meg, ahol intenzív csillagkeletkezés zajlik, és egy csillag minél nagyobb tömegű, annál hamarabb elhasználja nukleáris tüzelőanyagát, azaz az ekkora tömegű csillagok már akkor szupernóvaként semmisülnek meg, mikor környezetükben kisebb tömegű csillagok még csak életük elején járnak, vagy éppen létrejönnek.

Az utófények alapján még egy fontos kérdés tisztázhatóvá vált: a gamma-kitörések univerzumunk legtávolabbi eseményei.¹⁷ Messzi, halvány galaxisokban lépnek fel néhány vagy néhány tized másodpercgig, és ez idő alatt minden mást túlragyognak az égen – számunkra láthatatlan fényben.

¹² BERGER et al. 2005.

¹³ PÉREZ-RAMÍREZ et al. 2010.

¹⁴ MÉSZÁROS–REES 1992.

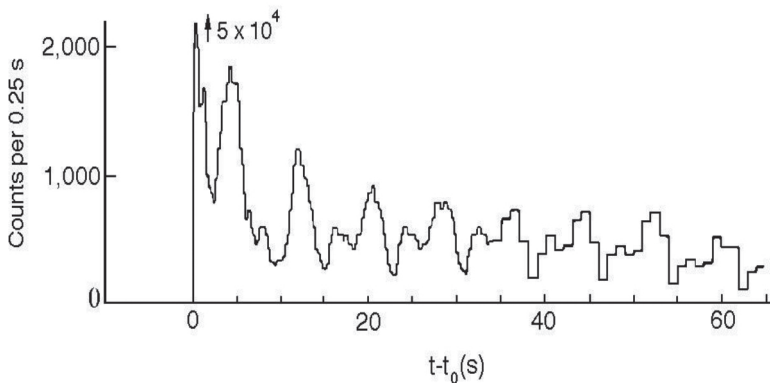
¹⁵ HORVÁTH et al. 2018.

¹⁶ WOOSLEY 2012.

¹⁷ HORVÁTH et al. 1996.

Lágy gamma-ismétlők

Hét olyan égitestet ismerünk, amelyek nem egyetlen alkalommal, hanem ismételten bocsátanak ki gamma-sugárzást. Az első hármat 1979-ben fedezték fel, a negyediket 1998-ban, az ötödiket és a hatodikat 2008-ban, a hetediket pedig 2013-ban. Volt olyan, hogy az egyik objektum három nap alatt három kitörést is produkált, ezzel pedig bebizonyosodott, hogy egy új típusú égitestről van szó, hiszen az addig megfigyelt több száz gamma-kitörés között egyszer sem sikerült ismételt aktivitást mutató forrást találni.



4. ábra. Az 1979-es első esemény fénygörbéje

Forrás: MAZETS et al. 1979.

A kibocsátott sugárzás a gyenge gamma-tartományban a legintenzívebb (azaz a gamma-sugárzás úgynevezett lágy tartományában) így ennek segítségével is meg lehetett őket különböztetni a gamma-kitörésektől. Nevüket is ezen két megkülönböztető tulajdonságukról kapták: lágy gamma-ismétlők (*soft gamma repeater, SGR*).

Mivel a források galaxisunk fősíkjában, illetve a Nagy Magellán-felhőben helyezkednek el, ezért valószínűleg fiatal objektumokról van szó.¹⁸

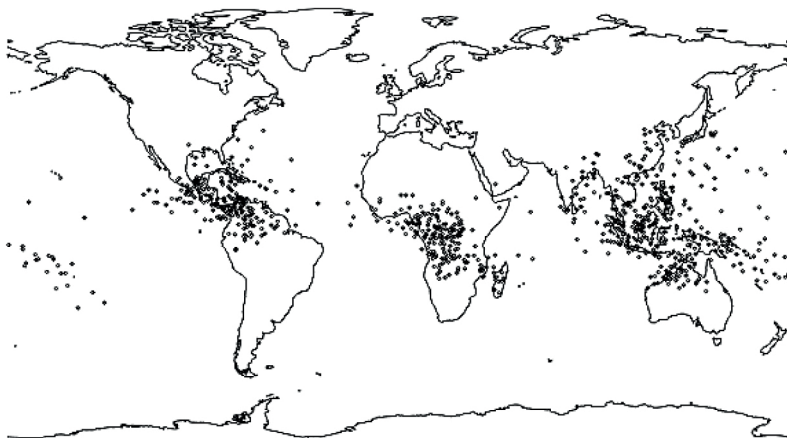
Földi gammasugár-felvillanások

Bár kozmikus gamma-kitörések detektálására tervezték, a CGRO műhold 1994-ben a Föld irányából érkező ezredmásodperc hosszúságú gamma-villanásokat észlelt, amelyek jellege azonban alapvetően eltért a légköri atomrobbantások által keltettektől. Mivel ezek nagy zivatarrendszerek fölött jelentkeztek, ezek keletkezésének oka az ott jelenlevő, a villámlás által keltett erős elektromos terek által felgyorsított relativisztikus elektronlavinák fékezési sugárzása

¹⁸ KOUVELIOTOU et al. 1999.

lehet. Bár ez az általánosan elfogadott és valóban kézenfekvő magyarázat, a közelebbi kísérleti megfigyelés nehézségei miatt mai napig nincs konkrét bizonyíték rá.

A 2000-es évek elején a RHESSI műhold (*Ramaty High Energy Solar Spectroscopic Imager*) a korábbiaknál jelentősen nagyobb energiájú földi gamma-sugár-felvillanásokat detektált, körülbelül ötvenet naponta (bár a becslések alapján akár 500 ilyen esemény is történhet egy nap alatt). Ha igaz a zivatarbeli keletkezés elmélete, akkor is csak azok töredékében történik gamma-sugárkeltés, mivel a földi légkörben naponta nagyjából négymilliószor villámlik.



5. ábra. A RHESSI által megfigyelt 810 földi gamma-sugár-felvillanás, amely különösen jó egyezést mutat a nagy viharzónákkal

Forrás: GREFENSTETTE et al. 2009.

Mikro- és nanoműholdak

Ahogy a technika fejlődésével méréseink egyre pontosabbá válnak, úgy válnak az addigi megfigyelőberendezéseink egyre kisebbé. Ennek az űrkutatásban fokozott előnyei vannak, egy kisebb műszert ugyanis sokkal olcsóbb feljuttatni az űrbe. Mivel gamma-kitörések vizsgálata a földi légkörön át nem lehetséges, ez esetünkben megkerülhetetlen szempont.

Mikroműholdak

A 10 és 100 kg közötti tömegű műholdakat mikroműholdaknak nevezzük. Ezeket általában még önállóan állítják pályára egy rakéta segítségével vagy néhány mikroműholdat együtt. Megjelennek már köztük a kocka alakúak, amelyek így könnyebben elhelyezhetők a raktérben, de ez inkább még a nanoműholdakra jellemző. Nagy előnye ugyanakkor a kockaalaknak, hogy sokkal

jobb a helykihasználása, ami a drága hordozórakéta-rakhely miatt nem elhanyagolható szempont és mivel csak a pályáján keringve nyitja ki a napelemtábláit, sokkal kevésbé is sérülékeny.

Ezek a műholdak már nem rendelkeznek hajtóművel, azaz pályakorrekció nem hajthatató végre velük. Továbbá küldetésük nem hosszabbítható és nem rövidíthető: amikor a légkör egy-egy molekulájával ütközve a keringési magasságtól függően gyorsabban-lassabban lefékeződnek és belépnek a légkörbe, akkor égnek el.

Ez szükségessé teszi a küldetés pontos tervezését a pályától az eszközök várható élettartamán és az esetleges meghibásodás kezelésén át az elvégzendő feladat hosszáig. Az alacsonyabb keringési pályára állítás ugyanis olcsóbb, de természetesen a légkörbe lépés is hamarabb megtörténik, így a küldetés is csak rövidebb ideig tarthat. A pályára állításra már gyakran speciálisan erre a célra kifejlesztett hordozórakétákat, úgynevezett indítójárműveket használnak.

Nanoműholdak

Az 1 és 10 kilogramm közötti műholdakat nevezzük nanoműholdaknak, amelyeknek legnagyobb előnye, hogy kicsik és könnyűek. Ezekből egyszerre sokat állítanak pályára, és egy-egy műholdat egy-egy speciális célra, mérés elvégzésére építenek meg.¹⁹ Legismertebbek közülük a kockaműholdak (CubeSat), amelyek 10 cm élhosszúságú kocka alakúak.

Tipikusan már létező alkatrészekből rakják össze őket, akár egy egyetemi laborban: Magyarországon a BME-n készült el az első (és eddig egyetlen) ilyen műhold, a Masat-1, amelyet 2012. február 13-án indított útjára az ESA Francia Guyanáról egy Vegahordozórakétán hat másik nanoműhold társaságában.²⁰ Ezzel Magyarország a 47. olyan állam lett, amely saját műholdat juttatott az űrbe.

Sőt, akár 3D-nyomtatóval is előállíthatók ezek a típusú műholdak, amely egészen új távlatokat nyit felhasználásukban, akár „eldobható” műholdakként is.

Felhasználás a katonai és polgári műholdak üzemeltetésében

Nukleáris fegyverek használatának monitorozása

Ahogy halad előre a fegyverkezési verseny, újabb és újabb eszközöket fejlesztenek ki. Emellett Irán az urándúsítás felújításával fenyegetőzik, és Észak-Korea is kísérletezik nukleáris robbantásokkal. Az viszont gyakorlatilag elképzelhetetlen, hogy egy újonnan kifejlesztett fegyvert az első bevetés előtt legalább egyszer ne próbálnának ki. A leghíresebb példa maga az atombomba, amelyet először 1945. július 16-án robbantottak Új-Mexikóban. A második és a harmadik Hirosimára és Nagaszakira hullott, és több bombája akkor az amerikai hadseregnek nem is volt, legalább egy hónapba telt volna egy újabb bomba előállítása.

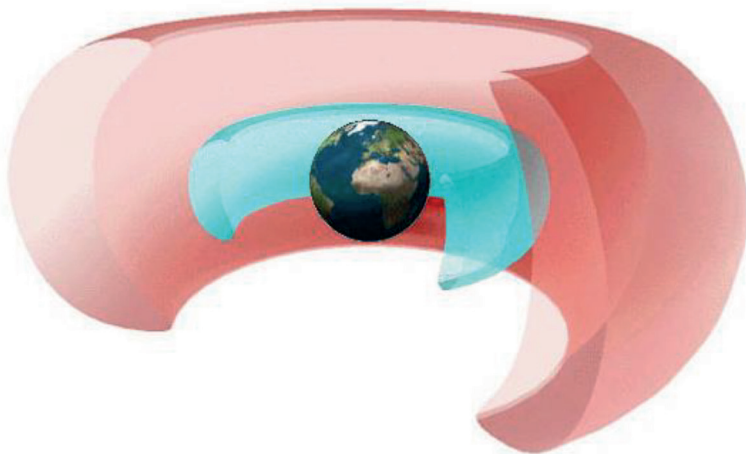
¹⁹ WERNER et al. 2018.

²⁰ SciTechDaily 2012. Elérhető: <https://scitechdaily.com/esas-vega-rocket-has-launched-on-its-maiden-voyage-carries-9-satellites/> (A letöltés dátuma: 2019. 07. 20.)

Éppen ezért várható, hogy egy új nukleáris tömegpusztító fegyvert először titokban próbálnak ki, hogy működik-e. Ennek monitorozására kiválóan alkalmas egy Föld körüli műhold-hálózat, amely a teljes bolygót lefedve tudja a felszínen végrehajtott robbantásokkal együtt járó gamma-jeleket észlelni. Ezen hálózat nanoműholdakból való felépítése azért lenne célszerű, mivel egy gamma-detektor kicsi, üzemeltetése kevésbé energiaigényes, mérési adatainak földre sugárzása is megoldható a napelemtábláival, és akár az egész hálózat pályára állítása elvégezhető egyetlen kilövésrel, hiszen a GPS-hálózat is 31 műhoddal teljes lefedést valósít meg és redundancia is van a rendszerben. Emellett nem elhanyagolható a mérőberendezések folyamatos fejlődése, érzékenységének növekedése, azaz érdemes egy hálózatot rövidebb időre, akár csak egy vagy néhány évre tervezni és ennek megfelelő magasságban pályára állítani, mivel a jobb mérőműszerek néhány év múlva már sokkal hatékonyabb detektálást biztosíthatnak.

Űridőjárás valós idejű megfigyelése

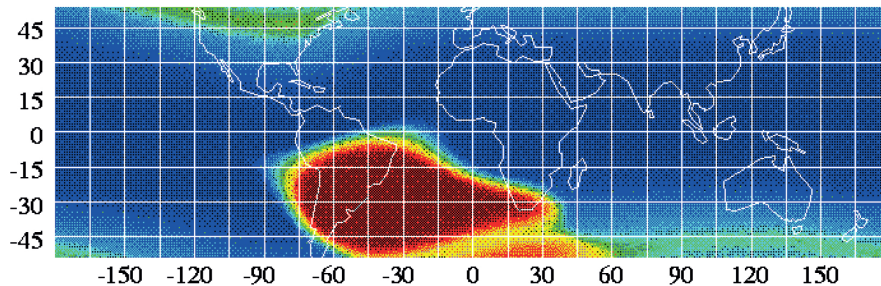
A Földet folyamatosan éri a Napból érkező nagyenergiás töltött részecskék: protonok, elektronok. A Föld mágneses tere ezeket nem engedi eljutni a légkörig, hanem befogja őket, a protonokat a felszínhez közelebb, az elektronokat távolabb. Ezzel két tórusz alakú tartomány (sematikus ábráját lásd a 6. ábrán) alakul ki, amelyeket James Van Allenről, az Iowai Egyetem fizikaprofesszoráról (aki egyébként az USA Tengerészeti Akadémiáján tanult, és a haditengerészet számára végzett kísérleteket) neveztek el Van Allen-öveknek. Ő volt ugyanis az, aki ragaszkodott ahhoz, hogy az első amerikai műhaldon, az Explorer1-en legyen egy Geiger-Müller-számláló, és így amikor a műhold keresztülhaladt ezeken a sugárzási öveken, az bejelzett.



6. ábra. A Van Allen-övek elhelyezkedése a Föld körül

Forrás: www.nasa.gov/content/goddard/van-allen-probes-reveal-zebra-stripes-in-space (A letöltés dátuma: 2019. 07. 20.)

Bár a belső Van Allen-öv a Föld felszínétől 2000–5000 km magasan helyezkedik el, Dél-Amerika és az Atlanti-óceán déli része fölött 200 km-es felszín feletti magasságig leér, amelynek neve dél-atlanti anomália (elhelyezkedését lásd a 7. ábrán).



7. ábra. A dél-atlanti anomália kiterjedése

Forrás: <https://heasarc.gsfc.nasa.gov/docs/rosat/gallery/display/saa.html> (A letöltés dátuma: 2019. 07. 20.)

Ennek oka, hogy a föld mágneses terének megfelelő dipólus nem pontosan a Föld geometriai középpontjában helyezkedik el. Itt tehát sokkal kisebb magasságban is nagyenergiás töltött részecskék találhatóak, amelyek a műholdak berendezéseire károsak lehetnek, ezért azokat mindig kikapcsolják, amikor ezen a régióban repülnek keresztül.

A Van Allen-övek azonban messze nem statikusak. Alakjuk, pontos elhelyezkedésük erősen függ nemcsak a Föld mágneses terének változásaitól, hanem a naptevékenység akár másodpercek alatt bekövetkező változásaitól is. Ez azt is jelenti, hogy a Van Allen-övek akár sokkal nagyobb területen átfedhetnek a műholdak keringési pályáival, veszélyeztetve ezzel működésüket.

Az előző alfejezetben bemutatott hálózathoz hasonlóan tehát célszerű lenne egy, a belső Van Allen-öv kiterjedését detektáló nanoműhold-hálózat kiépítése. A hálózatot több rétegben, eltérő magasságokban keringő hálózatokból lenne célszerű kiépíteni, amely nemcsak egyenletesen lefedi a teljes bolygót, hanem magassági információt is szolgáltat a sugárzási öv kiterjedésének időbeli változásáról. Ezzel pontosabban előre jelezhetővé válna a Föld úridőjárásának változása, ami mind a katonai, mind a polgári célú űreszközök védelmének fokozását szolgálná.

Összefoglalás

Cikkünkben bemutattuk a gamma-kitörések, a legnagyobb energiájú elektromágneses sugárzás kibocsátásával járó jelenségek alapvető típusait. Földi nukleáris robbantások gamma-sugárzásának detektálására tervezett műholdak észlelték először a kozmikus gamma-kitöréseket, amelyek univerzumunk legenergetikusabb jelenségei és neutroncsillag-összeolvadáskor vagy szupernóva-robbanáskor jönnek létre. Hasonlóan az úgynevezett földi gamma-villanások eredete

is megfejtésre vár. Bár ennek magyarázatára már vannak kielégítő feltevéseink, nanoműholdak segítségével közvetlen közelről lennének ezek a jelenségek tanulmányozhatók.

A NATO-nak, és ezen belül a Magyar Honvédségnek megvannak a technikai lehetőségei arra, hogy célzott feladatú nanoműholdak építésével és Föld körüli pályára bocsátásával teljes bolygót lefedő megfigyelőhálózatot hozzon létre. Ezek a műholdak alkalmasak lennének mind a nukleáris fegyverek által keltett gamma-sugarak detektálására, ezzel felfedve a fegyverkező államok titkos kísérleteit, mind az űridőjárás monitorozására a többi katonai műhold védelme érdekében.

Felhasznált irodalom

- BERGER, E. – PRICE, P. A. – CENKO, S. B. – GAL-YAM, A. – SODERBERG, A. M. – KASLIWAL, M. – LEONARD, D. C. – CAMERON, P. B. – FRAIL, D. A. – KULKARNI, S. R. – MURPHY, D. C. – KRZEMINSKI, W. – PIRAN, T. – LEE, B. L. – ROTH, K. C. – MOON, D. S. – FOX, D. B. – HARRISON, F. A. – PERSSON, S. E. – SCHMIDT, B. P. – PENPRASE, B. E. – RICH, J. – PETERSON, B. A. – COWIE, L. L. (2005): The afterglow and elliptical host galaxy of the short γ -ray burst GRB 050724. *Nature*, Vol. 438, No. 7070. 988–990. DOI: <https://doi.org/10.1038/nature04238>
- CLINE, T. L. – DESAI, U. D. – KLEBESADEL, R. W. – STRONG, I. B. (1973): Energy Spectra of Cosmic Gamma-Ray Bursts. *The Astrophysical Journal*, Vol. 185, No. 1. L1–L5. DOI: <https://doi.org/10.1086/181309>
- GLASSTONE, Samuel – DOLAN, Philip J. (1977): *The Effects of Nuclear Weapons*. sine loco, United States Department of Defence, 3rd edition U.S.GPO 1977 0-213-794. Elérhető: www.dtra.mil/Portals/61/Documents/NTPR/4-Rad_Exp_Rpts/36_The_Effects_of_Nuclear_Weapons.pdf (A letöltés dátuma: 2019. 07. 20.)
- GRENFENSTETTE, B. W. – SMITH, D. M. – HAZELTON, B. J. – LOPEZ, L. I. (2009): First RHESSI terrestrial gamma ray flash catalog. *J. Geophys. Res.*, Vol. 114. A02314. DOI: <https://doi.org/10.1029/2008JA013721>
- HORVÁTH, I. (1998): A Third Class of Gamma-Ray Bursts? *The Astrophysical Journal*, Vol. 508, No. 2. 757–759. DOI: <https://doi.org/10.1086/306416>
- HORVÁTH, I. (2002): A Further Study of the BATSE Gamma-Ray Bursts Duration Distribution. *Astronomy & Astrophysics*, Vol. 392, No. 3. 791–793. DOI: <https://doi.org/10.1051/0004-6361:20020808>
- HORVÁTH, I. (2003): Likelihood estimation of gamma ray bursts duration distribution. In FEIGELSON, Eric D. – BABU, G. Jogesh eds.: *Statistical Challenges in astronomy. Third Statistical Challenges in Modern Astronomy (SCMA III) Conference*. Pennsylvania, USA. New York, Springer. 439–441. DOI: https://doi.org/10.1007/0-387-21529-8_44
- HORVÁTH, I. (2016): *Gammakitörések*. Értekezés az MTA Doktora cím elnyeréséhez.
- HORVÁTH, I. – MÉSZÁROS, P. – MÉSZÁROS, A. (1996): Cosmological Brightness Distribution Fits of Gamma-Ray Burst Sources. *Astrophysical Journal*, Vol. 470, No. 1. 56–62. DOI: <https://doi.org/10.1086/177849>
- HORVÁTH, I. – MÉSZÁROS, A. – BALÁZS, L.G. – BAGOLY, Z. (2004): The duration-hardness joint distribution suggests three subgroups of GRBs. In FEROCI, Marco ed.: *Proceedings of the Third Rome Workshop on Gamma-Ray Bursts in the Afterglow Era: Rome, Italy*. San Francisco, Astronomical Society of the Pacific, ASP Conference Series, Vol. 312. 82–85.
- HORVÁTH, I. – BALÁZS, L. G. – BAGOLY, Z. – RYDE, F. – MÉSZÁROS, A. (2006): A new definition of the intermediate group of gamma-ray bursts. *Astronomy & Astrophysics*, Vol. 447, No. 1. 23–30. DOI: <https://doi.org/10.1051/0004-6361:20041129>
- HORVÁTH, István – BAGOLY, Zsolt – HAKKILA, Jon – TÓTH, L. Viktor (2015): New data support the existence of the Hercules-Corona Borealis Great Wall. *Astronomy & Astrophysics*, Vol. 584. Paper: A48. DOI: <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201424829>

- HORVÁTH, I. – TÓTH, B. G. – HAKKILA, J. – TÓTH, L. V. – BALÁZS, L. G. – RÁCZ, I. I. – PINTÉR, S. – BAGOLY, Z. (2018): Classifying GRB 170817A/GW170817 in a Fermi duration–hardness plane. *Astrophysics and Space Science*, Vol. 363, No. 3. Article: 53, 1–6. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10509-018-3274-5>
- HORVÁTH, I. – HAKKILA, J. – BAGOLY, Z. – TÓTH, L. V. – RÁCZ, I. I. – PINTÉR, S. – TÓTH, B. G. (2019): Multi-dimensional analysis of Fermi GBM gamma-ray bursts. *Astrophysics and Space Science*, Vol. 364, No. 6. Article: 105. 1–15. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10509-019-3585-1>
- HORVÁTH, I. – TÓTH, B. G. (2016): The duration distribution of Swift Gamma-Ray Bursts. *Astrophysics and Space Science*, Vol. 361, No. 5. Article: 155. 1–4. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10509-016-2748-6>
- KLEBESADEL, Ray W. – STRONG, Ian B. – OLSON, Roy A. (1973): Observations of Gamma-Ray Bursts of Cosmic Origin. *The Astrophysical Journal*, Vol. 182, No. 2. L85–L88. DOI: <https://doi.org/10.1086/181225>
- KOUVELIOTOU, C. – MEEGAN, C. A. – FISHMAN, G. J. – BHAT, N. P. – BRIGGS, M. S. – KOSHUT, T. M. – PACIESAS, W. S. – PENDLETON, G. N. (1993): Identification of two classes of Gamma-Ray Bursts. *The Astrophysical Journal*, Vol. 413, No. 2. L101–L104. DOI: <https://doi.org/10.1086/186969>
- KOUVELIOTOU, C. – STROHMAYER, T. – HURLEY, K. – van PARADIJS, J. – FINGER, M. H. – DIETERS, S. – WOODS, P. – THOMPSON, C. – DUNCAN, R. C. (1999): Discovery of a Magnetar Associated with the Soft Gamma Repeater SGR 1900+14. *The Astrophysical Journal*, Vol. 510, No. 2. L115–L118. DOI: <https://doi.org/10.1086/311813>
- MAZETS, E. P. – GOLENETSKII, S. V. – IL'INSKII, V. N. – APTEKAR', R. L. – GUR'YAN, Yu. A. (1979): Observations of a flaring X-ray pulsar in Dorado. *Nature*, Vol. 282, No. 5739. 587–589. DOI: <https://doi.org/10.1038/282587a0>
- MÉSZÁROS, P. – REES, M. J. (1992): Tidal Heating and Mass Loss in Neutron Star Binaries: Implications for Gamma-Ray Burst Models. *The Astrophysical Journal*, Vol. 397, No. 2. 570–575. DOI: <https://doi.org/10.1086/171813>
- PÉREZ-RAMÍREZ, D. – de UGARTE Postigo, A. – GOROSABEL, J. – ALOY, M. A. – JÓHANNESSEN, G. – GUERRERO, M. A. – OSBORNE, J. P. – PAGE, K. L. – WARWICK, R. S. – HORVÁTH, I. – VERES, P. – JELÍNEK, M. – KUBÁNEK, P. – GUZIY, S. – BREMER, M. – WINTERS, J. M. – RIVA A. – CASTRO-TIRADO, A. J. (2010): Detection of the high z GRB 080913 and its implications on progenitors and energy extraction mechanisms. *Astronomy & Astrophysics*, Vol. 510. Paper A105. DOI: <https://doi.org/10.1051/0004-6361/200811151>
- TÓTH, B. G. – RÁCZ, I. I. – HORVÁTH, I. (2019): Gaussian-mixture-model-based cluster analysis of gamma-ray bursts in the BATSE catalog. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Vol. 486, No. 4. 4823–4828. DOI: <https://doi.org/10.1093/mnras/stz1188>
- WERNER, Norbert – ŘÍPA, Jakub – PÁL, András – OHNO, Masanori – TARCAI, Norbert – TORIGOE, Kento – TANAKA, Koji – UCHIDA, Nagomi – MÉSZÁROS, László – GALGÓCZI, Gábor – FUKAZAWA, Yasushi – MIZUNO, Tsunefumi – TAKAHASHI, Hiromitsu – NAKAZAWA, Kazuhiro – VÁRHEGYI, Zsolt – ENOTO, Teruaki – ODAKA, Hirokazu – ICHINOHE, Yuto – FREI, Zsolt – KISS, László (2018): CAMELOT: Cubesats Applied for MEasuring and Localising Transients mission overview. In DEN HERDER, J. W. A. – NIKZAD, S. – NAKAZAWA, Kazuhiro eds.: *Space Telescopes and Instrumentation 2018: Ultraviolet to Gamma Ray*. Bellingham (WA), USA, SPIE, Paper: 106992P. DOI: <https://doi.org/10.1117/12.2313764>
- WHEATON, W. A. – ULMER, M. P. – BAITY, W. A. – DATLOWE, D. W. – ELCAN, M. J. – PETERSON, L. E. – KLEBESADEL, Ray W. – STRONG, Ian B. – CLINE, T. L. – DESAI, U. D. (1973): The Direction and Spectral Variability of a Cosmic Gamma-Ray Burst. *The Astrophysical Journal*, Vol. 185, No. 3, L57–L61. DOI: <https://doi.org/10.1086/181320>
- WOOSLEY, Stan (2012): Models for gamma-ray burst progenitors and central engines. In KOUVELIOTOU, Chryssa – WIJERS, Ralph A. M. J. – WOOSLEY, Stan eds.: *Gamma-Ray Bursts*. Cambridge, Cambridge University Press. 191–213. DOI: <https://doi.org/10.1017/CBO9780511980336.011>

Internetes források

- SciTechDaily 2012. Elérhető: <https://scitechdaily.com/esas-vega-rocket-has-launched-on-its-maiden-voyage-carries-9-satellites/> (A letöltés dátuma: 2019. 07. 20.)
- NASA's Van Allen Probes Reveal Zebra Stripes in Space (2014). NASA. Elérhető: www.nasa.gov/content/goddard/van-allen-probes-reveal-zebra-stripes-in-space (A letöltés dátuma: 2019. 07. 20.)
- BATSE All-Sky Plot of Gamma-Ray Burst Locations. NASA. Elérhető: https://heasarc.gsfc.nasa.gov/docs/cgro/cgro/batse_src.html (A letöltés dátuma: 2019. 07. 20.)
- South Atlantic Anomaly. NASA. Elérhető: <https://heasarc.gsfc.nasa.gov/docs/rosat/gallery/display/saa.html> (A letöltés dátuma: 2019. 07. 20.)