

# AZ ÉV ŰRTÁVCSÖVE, A GLAST

Horváth István  
Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem  
Karcsai Balázs  
Eötvös Loránd Tudományegyetem

Az idei év nagy áttörést hozhat a nagyenergiás fizikában, földön és égen egyaránt. A CERN huszonnégy kilométer kerületű körlagútjában hamarosan beindul a valaha épített legnagyobb részecskegyorsító, a *Nagy Hadronütköztető* (Large Hadron Collider, LHC), és mire ezek a sorok megjelennek, Föld körüli pályára áll a szintén nemzetközi együttműködésben megépült *GLAST*-kutatóműhold (1. és 2. ábra), amellyel olyan nagy energián nézhetünk körül az Univerzumban, amelyre eddig nem volt lehetőségünk. A rövidítés a *Gamma-ray Large Area Space Telescope* (*Nagylátóterű Gamma Űrtávcső*) nevet takarja, ami néhány hónappal a fellövés után lehet, hogy megváltozik, ugyanis a küldetést irányító NASA pályázatot írt ki egy, a széles közönség által is jobban megjegyezhetőre. Lehet, hogy a jelenlegi elnevezés piaci szempontból nem a legszerencsésebb, viszont kellőképpen beszédes. A *GLAST* egyszerre az égbolt igen nagy hányadáról képes összegyűjteni a felé tartó nagyon nagy energiájú gamma-fotonokat, keményebbeket, mint amilyeneket eddig észlelhattünk.

Már az 1940-es években nyilvánvaló volt, hogy az Univerzumban lezajló különféle folyamatok során nagy számban keletkeznek gamma-fotonok (néhány tucat

2. ábra. A *GLAST* összeszerelve várja a csomagolást

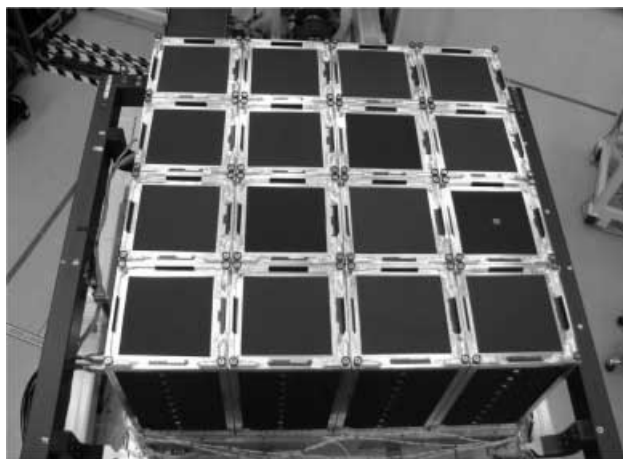


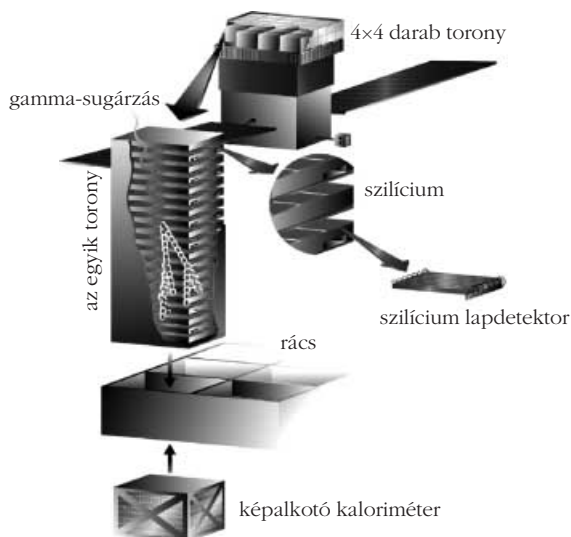
1. ábra. A *GLAST*-műhold sematikus képe

keV energia felett nevezzük így az elektromágneses sugárzást), azonban gyakorlati megfigyelésük csak az 1960-as években, az űrtechnika fejlődésével vált lehetővé. Ennek oka, hogy a kozmoszból érkező gamma-sugárzás nem képes áthatolni a Föld légkörén, így megfigyelése csak űreszközök alkalmazásával lehetséges. Az 1970-es évektől kezdve egyre nagyobb teljesítményű űrszondák (*Vela*, *Venera*, *PVO*, *HEAO*) vizsgálták a fény legnagyobb energiájú tartományát, de a folyamatos technikai fejlődés hirtelen megtorpant. Amióta 2000 júniusában befejeződött az amerikai *Compton-űrtávcső* (*Compton Gamma Ray Observatory*, *CGRO*) majdnem egy évtizeden keresztül tartó küldetése, nem volt olyan műhold, amely komoly vizsgálatokat tudott volna végezni az úgynevezett távoli gamma-tartományban.

Az amerikai, francia, japán, német, olasz és svéd költségvetésből elkészült *GLAST*-űrobszervatórium újabb lendületet ad a nagyenergiás asztrofizikának, amely terület az utóbbi évtizedben megfelelő műszer híján kevés új felfedezéssel szolgált. Nem csak pótolja elődjét, de felül is múlja annak képességeit. Két műszere közül a *Large Area Telescope* (*LAT*) az, amelytől az igazi szenzációt várják (3. ábra). Mérési tartományának felső határa 300 GeV fölött van, és az égboltnak egyszerre igen jelentős részét, nagyjából az egyötödét tudja megfigyelés alatt tartani. Ez utóbbi azért rendkívül fontos, mert a pontos méréshez sok detektált fotonra van szükség, ami halvány, de folyamatosan emittáló források esetében évekig tartó megfigye-

3. ábra. A *LAT* tizenhat tornya





4. ábra. A LAT-detektor felépítése és működési elve

lést is igényelhet. Kiegészítő műszere a *GLAST Burst Monitor* (GBM) detektorrendszere, ami főként a gamma-kitörések megfigyelésében jut fontos szerephez.

A GLAST küldetését a NASA Goddard Space Flight Center (GSFC) felügyeli, a projektvezetők *Steve Ritz* és *Kevin Grady*. A műszereket hordozó műholdat a General Dynamics Advanced Information Systems készítette, a teljes repülősúly négy tonna. A Föld körüli keringési pálya alacsony, magassága a felszíntől mintegy 550 km, inklinációja 28,5 fok. A mért adatok és a feldolgozásukhoz szükséges programok a nyilvánosság számára is elérhetőek lesznek a GLAST Science Support Center honlapján, a Guest Investigator programhoz pedig bárki csatlakozhat, akinek kutatómunkája a GLAST méréseire épül.

## Egyenesen a részecskegyorsító mellől

Mielőtt ízelítőt adunk azokból a jelenségekből, amelyeket az új űrteleszkóp vizsgálni fog, vessünk egy rövid pillantást a mindezt lehetővé tevő technikai háttérre! A GLAST fő műszere, a LAT működési elve nem véletlenül hasonló ahhoz, amit jelenleg a földi részecskegyorsítók melletti detektoroknál is gyakran alkalmaznak, ugyanis még a kilencvenes évek elején, a Stanfordi Lineáris Részecskegyorsító Központban (SLAC) megépítendő gyorsító mellé tervezték. A kezdeti elképzelések pénz hiányában végül nem valósulhattak meg, de *Peter Michelson* jelenlegi kísérletvezető és néhány társa észrevette a lehetőséget a technológia világűrben történő alkalmazására. Mivel a gamma-fotonok pontos észleléséhez sok detektoranyag van szükség, a LAT tömege eléri a három tonnát, ami a műhold teljes tömegének háromnegyede.

Az egymás mellett rácsszerűen elhelyezkedő tizenhat detektortorony valamelyikébe beérkező foton egy vékony fémlapba ütközve elektron–pozitron párokat kelt, amelyek az egymásra helyezett szilíciumlapocskákön áthaladva apró elektromos impulzusokat hoznak létre, ezek mérésével kiszámolható a töltött ré-

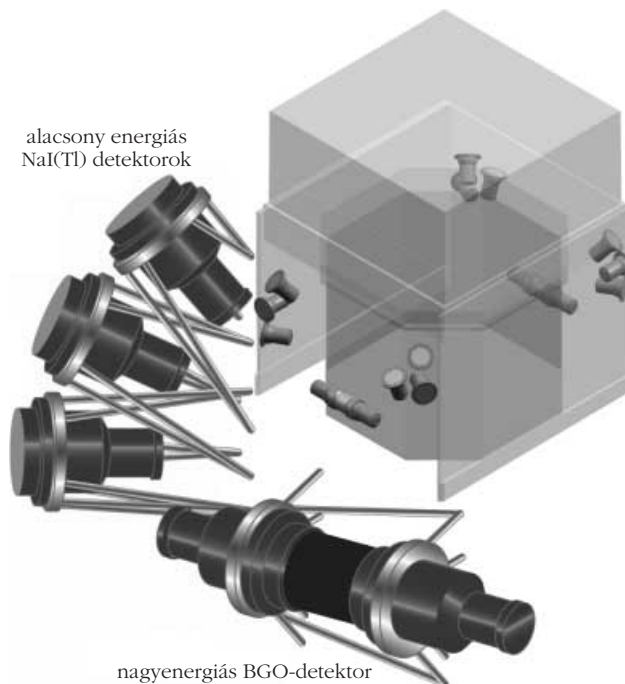
szecskek útvonala. Ezután egy cézium-jodid kalori-méterbe érve adják le energiájukat. A kapott adatokból nagy pontossággal meghatározható az eredeti, magányos foton iránya és energiája (4. ábra).

A LAT mindenben felülmúlja az egy évtizeddel ezelőtti, hasonló céllal készült elődjét, a CGRO Energetic Gamma Ray Experiment Telescope (EGRET) műszerét. Jóval halványabb forrásokat is képes azonosítani, és egy teljes nagyságrenddel magasabb energiahatárig tud mérni, akár 300 GeV feletti fotonokat is detektál (az észlelés alsó határa 20 MeV). Ez az érték nagyjából százezermilliószorosa a látható tartományba eső fényrészecskek energiájának, és majdnem kétszerese annak az energiának, ami ekvivalens az eddig felfedezett legnehezebb elemi részecske, a top kvark nyugalmi tömegével. Mérési pontossága arányos a beérkező fotonok energiájával, a felső méréshatár közelében mindössze egytized fok. A két detektálás közötti holtidő 100 mikroszekundum, ez ezerszer kisebb, mint az EGRET-é volt, és képessé teszi arra, hogy gyorsan változó jelenségek emisszióját is nagy pontossággal megmérje.

A LAT látótere az égbolt igen jelentős részét, körülbelül 20%-át lefedi, a GLAST keringési pályáját pedig úgy állítják be, hogy nagyjából háromóránként a teljes égboltot végigpásztázza. Emellett a műhold arra is képes, hogy huzamosabb időn keresztül egy meghatározott pont irányába forduljon, amennyiben a kutatók folyamatos megfigyelésre érdemes jelenségre bukkannak.

A GLAST másik műszere, a GBM a NASA Marshall Space Flight Center (MSFC) kutatóközpontjában épült meg. A kísérlet vezetői *Charles Meegan* és *Jochen Greiner*. A gamma-kitörések vizsgálatára készült GBM tizennégy darab szcintillációs detektorból áll (5. ábra bal alsó része), amelyek mérési tartománya 8 keV és 25 MeV közé esik. Ezeket úgy helyezték el a műhold

5. ábra. A GBM detektorai és elhelyezkedésük a GLAST-műholdon



oldalain, hogy együttes látóterük teljesen lefedje az égboltnak azt a részét, amelyet a Föld éppen nem árnyékol le (5. ábra jobb felső része). Az elrendezés további sajátossága, hogy bármely irányból érkező felvillanást egyszerre legalább négy detektor is észlel. Ez lehetővé teszi, hogy a háromszögelés módszerével rövid idő alatt nagy pontossággal meghatározza a hirtelen felvillanó gamma-kitörések helyzetét, ugyanis a különféle irányokba álló detektorok felületére eltérő mennyiségű foton esik be. A tizenkét nátrium-jodid (NaI(Tl)) detektor és a két darab, nagyobb energiatarományban megbízhatóbb bizmut-germánát (BGO) szcintillátor (6. ábra) igen jó időbeli és energia szerinti felbontással szolgál a megfigyelt kitörések lefolyásáról.

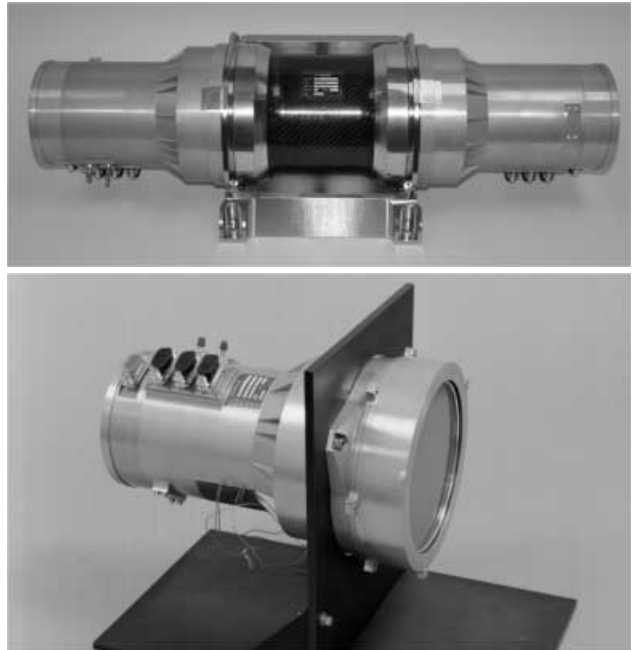
A GBM hasonló funkciót tölt be a GLAST fedélzetén, mint egy évtizeddel korábbi elődje, a CGRO Burst and Transient Source Experiment (BATSE) műszere, amelynek mindmáig a legnagyobb összefüggő gammakitörés-adatbázist köszönhetjük. A két műszer közötti különbség leginkább abban nyilvánul meg, hogy a GBM hamarabb és pontosabban tudja meghatározni a kitörések irányát, mint a BATSE, így jelzésére a LAT és más egyéb távcsövek hamarabb tudnak az adott irányba fordulni.

## Kiterjedt gamma-források az égbolton

Mivel minden eddiginél nagyobb energiákon és nagyobb pontossággal képes vizsgálni az Univerzumot, a GLAST igazán nagy horderejű felfedezéseit a LAT-detektortól várják. A korábbi űrteleszkópok megfigyelései több asztrofizikai kérdést vetettek fel, mint amennyit megválaszoltak, valamint a földi részecskegyorsítóknak elért és még inkább az elérni vágyott eredmények is inspirálóan hatnak a kutatásokra. Az írás további részében bemutatunk néhány területet, amelyeken az általános vélekedés szerint új felfedezések várhatók.

Nem kell azonnal kozmológiai távolságokba néznünk, hogy gamma-sugárzás forrásaira bukkanjunk. A Tejútrendszerben található csillagközi gázfelhők bár nem túl intenzív, relatíve nagy méretük miatt mégis jól észlelhető sugárzást produkálnak ebben a tartományban. Ennek oka, hogy a minden irányból egyformán érkező kozmikus sugárzás nagy sebességre felgyorsult töltött részecskéi a gázfelhők molekuláinak ütközve energiájukat ebben a formában adják le. A 7. ábrán egy szimuláció látható arról, milyennek fogja látni az égboltot a LAT egy évnyi folyamatos megfigyelés után. A középső fényes, vízszintes sáv a mi galaxisunk, láthatóan ez adja az állandó gamma-háttér nagy részét.

Amellett, hogy a GLAST rendszeresen végigpásztazza majd az égboltot új gamma-források után kutatva, az aktív galaxismagok biztos célpontot jelentenek számára. Jól ismert tény, hogy a galaxisok centrumában hatalmas, szupernehéz fekete lyukak találhatók, amelyek tömege Napunkénak több milliárdszorosa is lehet. Közvetlen környezetük a galaxis kialakulásának korai időszakában igencsak nyugtalan hely: a nagy mennyiségben befelé áramló és a fekete lyuk körül

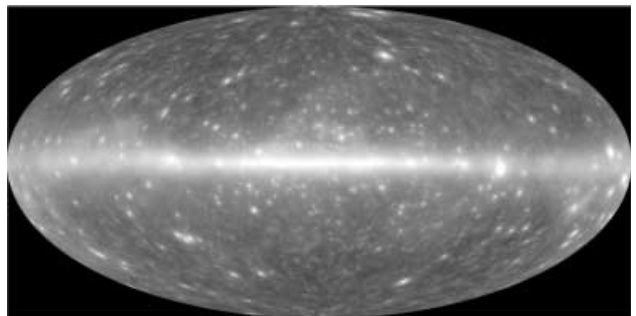


6. ábra. A GBM egyik bizmut-germánát detektora fölül és nátrium-jodid detektora alul

keringő anyag a perdület megmaradás miatt nem tud azonnal belezuhanni a fekete lyukba, így egy forró korongba (akkréciós korong) tömörül össze. Miközben innen lassan spirálózva áramlik befelé, jelentős része egy máig tisztázatlan folyamat következtében – vélhetően a szupernehéz központi objektum forgási energiáját felhasználva – a fénysebesség közelébe gyorsul, és a forgástengely irányában, egy szűk nyalábban (jet) elhagyja a galaxis központját (8. ábra). A kispriccelő részecskék a hosszabb hullámhosszú fotonoknak ütközve átadják energiájuk egy részét (inverz Compton-szórás), amelyek így a gamma-tartományba kerülnek, detektálásuk pedig közelebb vihet a galaxismagban lezajló folyamat pontosabb megismeréséhez.

Ennél azonban közvetlenebbül is nyomába eredhetünk a fekete lyukaknak. *Stephen Hawking* egyre általánosabban elfogadott elmélete szerint a fekete lyukak valójában mégsem annyira feketék, hanem a kvantummechanika és a gravitáció közötti kapcsolat miatt sugárzást bocsátanak ki, vagyis szépen lassan elpárolognak. Minél kisebb a fekete lyuk tömege, a jelenség annál intenzívebb. Ha léteznek miniatűr, az Univer-

7. ábra. A szimuláció szerint ilyenek látja majd a GLAST az égboltot: a középső vízszintes sáv a Tejút csillagközi gázfelhőire, míg a sok elszórt folt az aktív galaxismagokra utal.





8. ábra. Egy aktív galaxismag vázlatos rajza

zum keletkezésekor nagyjából aszteroidnyi tömeggel rendelkező fekete lyukak, akkor ezeknek jelenleg a gamma-tartományba eső sugárzást kell kibocsátaniuk. Ennek esetleges kimutatásával a GLAST kísérleti bizonyítékot szolgáltatna a kvantum-térelméletnek és a gravitációnak az elméletben kimutatott kapcsolatára.

## Modern részecskefizika, gyorsító nélkül

A részecskefizika jelenleg elfogadott standard modelljében felmerülő hiányosságokat annak szuperszimmetrikus kiterjesztéseivel próbálják orvosolni. Ezek az elméletek azt állítják, hogy minden eddig megismert elemi részecskének létezik egy nála sokkal nagyobb tömegű szuperpartnere. A hamarosan beüzemelő új gyorsítótól, az LHC-től várják e különleges részecskék legkönnyebb tagjainak felfedezését is. A keresésre azonban más lehetőség is kínálkozik. Közvetlenül az ősrobbanás után a természetben is föllépett olyan magas energiájú állapot, mint ami a CERN gyorsítójának protonütközéseiben előáll. A szuperszimmetrikus részecskéknek – amennyiben léteznek – ott is létre kellett jönniük, és mivel ezek legkisebb tömegű tagja egymagában már nem bomolhat el kisebbekre, nagy valószínűséggel még most is megtalálható körülöttünk. Régóta bizonyos, hogy az Univerzumban megfigyelhető struktúrák (galaxisok és galaxishalmazok) létrejöttéhez sokkal több anyagra van szükség, mint amennyit a kibocsátott fénye alapján távcsöveinkkel közvetlenül meg tudunk figyelni. Ha feltételezzük, hogy a hiányzó sötét anyag egy részét gázfelhők, fekete lyukak és egyéb sűrű objektumok alkotják, akkor is csak mintegy tíz százalékát magyaráztuk meg a szükséges gravitáló anyagmennyiségnek. A maradék kilencven százalékra jó eséllyel pályáznak ezek a hagyományos anyagfajtákkal szinte alig kölcsönható szuperszimmetrikus részecskék.

Bár műszereink közvetlenül nem érzékelhetik őket, detektálásukra mégiscsak ígérkezik lehetőség, ugyanis ezek saját maguk antirészecskéi is egyben. Véletlen ütközéseikkor megsemmisülnek, és a legegyszerűbb esetben két, a részecskék nyugalmi tömegével meg-

egyező energiájú gamma-foton indul útjára, egymással ellentétes irányban. Amennyiben a GLAST egy ilyen jól meghatározott energián a háttérzajnál sokkal több foton észlel, az egyértelmű jele lehet egy eddig ismeretlen részecske létezésének. Ennek megtalálásában segít, hogy a sötét anyag a láthatóhoz hasonlóan csomókba sűrűsödik, így a galaxisok irányából több fotonnak kell érkeznie. Ha időközben a CERN laboratóriumaiiban sikerülne ilyen részecskéket találni, a GLAST méréseivel könnyen eldönthető lenne, hogy azok képesek-e kozmológiai időtávlatokban is szerepet játszani.

A földiekhez igen hasonló részecskegyorsítót találunk a világuűrben is. A pulzárak, vagyis a gyorsan forgó, nagy mágneses térrel rendelkező fiatal neutroncsillagok a töltött részecskéket sokkal nagyobb energiára tudják felgyorsítani, mint amire az LHC képes lesz. Az itt végbemenő, mindezidáig ismeretlen reakciók vizsgálatára jó lehetőséget nyújt az azokban létrejövő gamma-sugárzás megfigyelése.

## Néhány igazolásra váró elmélet

*Einstein* speciális relativitáselméletének alapgondolata, miszerint a fizika törvényei minden állandó sebességgel mozgó megfigyelő számára azonosak, maga után vonja, hogy a fény vákuumbeli terjedési sebessége független a hullámhosszától. A gravitáció kvantumelméletében ez azonban már nem teljesül. A legkisebb méretskálán a tér-idő nem sima, hanem fluktuál, amire a nagyobb energiájú (vagyis kisebb hullámhosszú) fotonok sokkal érzékenyebbek. Így két megadott pont közötti út számukra hosszabbnak tűnik, vagyis azonos időben történő kibocsátásuk ellenére egy kicsivel később fognak megérkezni, mint kisebb energiájú társaik. A később tárgyalandó gamma-kitörések ideális fényforrásul szolgálnak a jelenség megfigyeléséhez, ugyanis nagyjából azonos időben nagy mennyiségű, különféle energiájú gamma-sugárzást bocsátanak ki. Mivel legtöbbször tőlünk igen távol – több milliárd fényévnnyire – következik be, az amúgy apró effektus már mérhetővé válik, egyes jóslatok szerint az alacsony- és nagyenergiás fotonok beérkezése közötti időkülönbség a tíz millisekondumot is meghaladhatja, amit a LAT-detektor már könnyedén kimutat.

Egyes fizikai elméletek szerint léteznek a tér-időnek olyan extra térdimenziói, amelyek a hétköznapi anyag viselkedését nem befolyásolják, azonban ha ezen dimenziók mérete kellőképpen nagy, a gravitációban fontos szerepet játszhatnak. Ezek szerint a gravitációs kölcsönhatás közvetítő részecskéjének, a gravitonnak van egy különös testvére (a Kaluza–Klein-graviton), amely ebben a megnövelt dimenziószámú térben terjed. Szupernóva-robbanásokban és egyéb nagy energiakibocsátással járó eseményekben ilyen részecskék is szép számmal keletkezhetnek, amelyek azután már ismert részecskékké, köztük gamma-fotonokká bomlanak. Ha a GLAST érzékeny műszere nem talál ilyen jelenségre utaló nyomot, az erősen megkérdőjelezi ezen elméletek egy részének létjogosultságát.

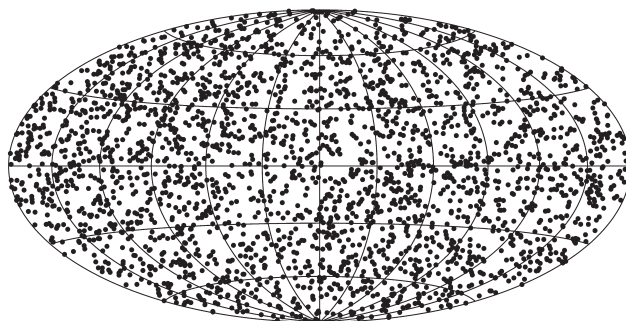
Nagy energiákon olyan folyamatok is bekövetkeznek, amelyeknek valószínűsége máskülönben gyakorlatilag nulla – ilyen a fény-fény kölcsönhatás is. A világűrben terjedő energikus gamma-fotonok kölcsönhatásba lépnek a csillagok fényével, és elektron–pozitron párokat keltenek. Ez azt eredményezi, hogy nagy távolságokon a Világegyetem részben átlátszatlanná válik a gamma-tartományban – természetesen az effektus rendkívül kicsi. De ahhoz talán elégnék tűnik, hogy amennyiben a GLAST nagyszámú távoli aktív galaxis gamma-spektrumát megméri, abból következtetni lehessen arra, mennyire tölti ki az Univerzumot az ultraibolya és a látható tartományba eső fény. Ebből közvetve meghatározható lenne, hogyan alakult a csillagképződési aktivitás a kozmológiai időskálán.

## A még ma is titokzatos gamma-kitörések

A gamma-kitörések (GRB, azaz gamma-ray burst) megfigyelése a GLAST kiemelt feladatai között szerepel. Felfedezésük a véletlennek és közvetve a hidegháborúnak köszönhető. Négy évvel azután, hogy a nagyhatalmak 1963-ban aláírták a kísérleti atomrobbantások korlátozásáról szóló egyezményt, az Egyesült Államok felbocsátotta a gamma-detektorokkal felszerelt Vela katonai műholdcsaládot, amelynek célja az volt, hogy leleplezze a Szovjetunió esetleges űrbéli atomkísérleteit. A műszerek rövid idő alatt több eseményt is észleltek, azonban hamarosan bebizonyosodott, hogy a detektált gamma-fotonok nem származhatnak a keresett nukleáris robbantásokból. A láthatólag a világűr minden irányából érkező, igen rövid ideig tartó, ellenben rettentően nagy energiájú felvillanások – nemzetvédelmi okokból – csak évekkel később kerülhettek először publikálásra.

A gamma-kitörések felfedezése után több csillagászati kutatóműholdon helyeztek el gamma-detektorokat, az első kizárólag e célra készített eszköz az 1991-től 2000-ig üzemelő Compton-űrtávcső volt, amely már működésének első három hónapja alatt több kitörés irányát és spektrumát határozta meg, mint amennyit annak előtte ismertek. Fedélzetén négy műszer kapott helyet, amelyek közül a legfontosabb a nyolc darab nagy felületű nátrium-jodid (NaI) detektorból álló Burst And Transient Source Experiment (BATSE) volt. A detektorokat a téglatest alakú CGRO sarkain helyezték el, így egy adott kitörést több detektor is észlelt. Ezek együttes adataiból nagy pontossággal meghatározhatták a kitörések irányát. Kiderült, hogy eloszlásuk az égbolton izotróp (9. ábra), amely azonnal rácaffolt azon elméletekre, amelyek szerint a kitörések forrása a galaxisunk magjában vagy tányérjében volna.

Időbeli lefolyásuk szerint az egyes felvillanások két jól elkülönülő – bár némileg átfedő – csoportba sorolhatók. Az első típus igen rövid ideig, néhány tized másodpercig (átlag 0,3 másodperc) fénylik fel, és rendkívül nagy energiájú fotonok kisugárzásával jár. A második típus ellenben két másodpercnél is tovább



9. ábra. A gamma-kitörések izotróp eloszlása az égbolton

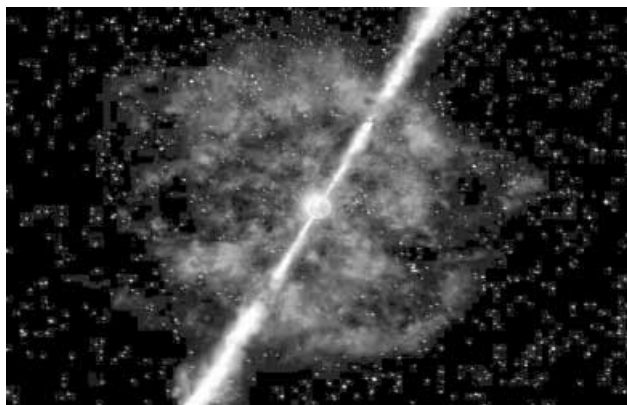
tart (átlag 3 másodperc), viszont a kibocsátott fotonok energiája alacsonyabb az elsőénél. Mindebből arra lehetett következtetni, hogy a megfigyelt gamma-kitörések két, egymástól különböző fizikai folyamatban jöhettek létre. Több kutató – köztük a cikk egyik szerzője – ezen is túlmegy, és a rendelkezésre álló adatok alapján háromféle kitöréstípus mellett érvel.

A felvillanások eredetére több elmélet is megpróbált magyarázatot adni, azonban mindegyik azt jósolta, hogy a hirtelen gamma-kitöréseket alacsonyabb hullámhosszú utófénylésnek kell kísérnie. 1997-ben a holland–olasz együttműködésben épült BeppoSAX műhold röntgensugárzást tapasztalt egy nem sokkal azelőtt felfénylött gamma-kitörés helyén. Később optikai hullámhosszakon is megfigyelték a jelenséget, és megállapították, hogy a kitörések távoli galaxisokból származnak. Vöröseltolódás-mérések alapján kiderült, hogy a sugárforrások átlagos távolsága nyolcmilliárd fényév, de találtak olyan kitörést is, amelynek fénye több mint tizenkétszáz évvel utazott ideig. A kitörések kozmikus eredete ezzel bizonyosságot nyert.

Napjainkban a Swift és a HETE-2 műholdak már statisztikai szempontból is sok kitörésnél figyeltek meg utófényt és mértek meg vöröseltolódást. Az amerikai Swift műhold mérte meg a jelenleg ismert kitöréstávolságoknak több mint kétharmadát, azonban az alacsony költségvetés miatt a gamma-tartományban komoly mérések végzésére nem alkalmas, érzékenységének felső határa mindössze 150 keV. Érdeemes megemlíteni, hogy a Swift által mért vöröseltolódások átlaga ( $z = 2,6$ ) jelentősen eltér a más műholdak által méretektől ( $z = 1,2$ ).

A távoli eredet miatt le kellett vonni a következtetést, miszerint a gamma-kitöréseket kiváltó folyamatban sokkal rövidebb idő alatt, sokkal nagyobb energia szabadul fel, mint amekkorát bármely eddig ismert folyamat megenged. Ha az energiakibocsátást izotrópnak feltételezzük, ez nagyjából azzal egyenértékű, mintha a Nap teljes tömege néhány tized másodperc alatt szétsugárzódna (kb.  $10^{51}$ – $10^{54}$  erg). Az energia ilyen mértékű felszabadulására két általánosan elfogadott elmélet létezik.

A hosszabb ideig tartó, de lágyabb, azaz az energia nagy részét inkább kisebb energiájú fotonokban kisugárzó kitöréstípust az úgynevezett hipernóva jelenséggel magyarázzák. Ha egy legalább negyven naptömegű csillag elégeti nukleáris fűtőanyagát, az végül fekete lyukká esik össze. Amennyiben a csillag tengely

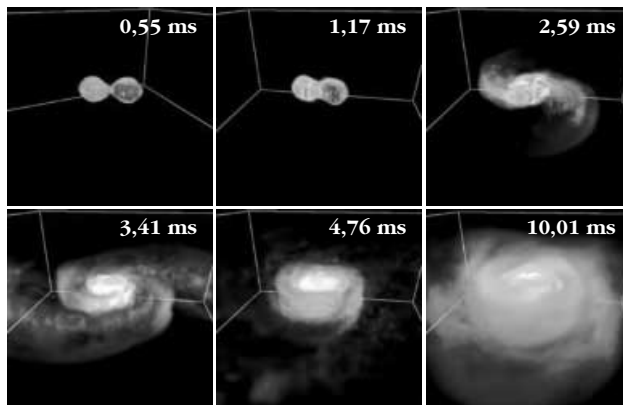


10. ábra. Hipernóva a két jettel

körül forgása gyors, a bezuhanó anyag egy úgynevezett akkréciós korongba sűrűsödik össze. Ekkor a csillaganyag jelentős része az egyenlítő síkjában, spirális pályán száguld a középpont felé, ami a hatalmas gravitációs erő következtében egyfajta generátorként működik. Vagyis energiává alakítja az akkréciós korong anyagának egy részét, két igen vékony, forgástengely irányú nyalábbb (jet) kisugározva azt (10. ábra).

Ezt az elképzelést támasztja alá, hogy a pontosabb megfigyelések szerint az ilyen kitörések a galaxisoknak azon aktív vidékeiről származnak, ahol éppen csillagkeletkezés folyik. Ugyanis itt jönnek létre azok a nagy tömegű, éppen ezért igen rövid életű csillagok, amelyek halálakor megfigyelhető a jelenség. Egy másik bizonyíték, hogy több ilyen kitörés helyén egyúttal szupernóva-robbanást is megfigyeltek, ennek közepén marad végül a fekete lyuk. Az pedig, hogy a gamma-sugárzás csupán két szűk nyalábbbban indul útjára, jelentősen, akár három nagyságrenddel is csökkenti a kitöréshez szükséges energiámmennyiségét. Ez persze azt is jelenti, hogy csak akkor vesszük észre a jelenséget, ha a jetek éppen felénk mutatnak.

12. ábra. A GLAST-ot majd pályára állító rakétatípus, a Delta II



11. ábra. Két neutroncsillag összeolvadása

A rövid, de keményebb kitörések keletkezését neutroncsillag-kettősök összeolvadásával próbálják magyarázni (11. ábra). A neutroncsillag nagy – de az előbb említetteknel jóval kisebb – tömegű csillagok halálakor keletkezik, anyaga sűrűbb, mint bármi másé az Univerzumban. A két, egymás körül keringő neutroncsillag az általános relativitáselmélet szerint gravitációs hullámokat sugároz ki, amelynek következtében energiát veszít, és spirális pályán egyre közelebb kerül egymáshoz. Az ütközéskor fekete lyuk keletkezik, körülötte egy hatalmas, relativisztikus sebességgel táguló tűzgolyóval, amely a környező gázcsomóknak ütközve gamma- és röntgensugárzást bocsát ki. A mérések alapján az ilyen típusú gamma-kitörések általában nem jönnek olyan messziről, mint a hosszúak, és keletkezési helyük is változatosabb. Az egyik probléma ezen elgondolással nem az, hogy miképpen tud néhány tized másodperc alatt ennyi energiát kibocsátani a rendszer, hanem az, hogy miért nem rövidebb idő (ezredmásodpercek) alatt történik az emisszió.

A jelenleg szolgálatot teljesítő, gamma-kitörések megfigyelésével foglalkozó űrteleszkópok nem képesek arra, hogy a gamma-tartományban jó felbontást adjanak. Utoljára nyolc évvel ezelőtt, a CGRO végzett részletes megfigyeléseket, jelenleg is e műszer nevéhez fűződik a legnagyobb kitörés-adatbázis. A GLAST várhatóan mind az adatok terjedelmében, mind a részletességében meghaladja majd elődjét, és segítségével pontosabb ismereteink lesznek arról, mi zajlik le abban a néhány másodpercben, amelyben annyi energia szabadul fel, amihez hasonlót sehol máshol nem látunk. A 12. ábra egy ugyanolyan Delta II rakéta fellövését mutatja, mint amilyen majd pályára állítja a GLAST-műholdat. A címképen a rakéta orr-részeiben elhelyezett GLAST látható.

A GLAST két műszere, a LAT és a GBM jól kiegészítik egymást, előbbi a nagyobb, utóbbi a kisebb energiákon figyeli meg a gamma-kitöréseket. Mivel a GBM látótere a teljes égboltot lefedi, kitörés észlelése esetén időben jelezni tudja irányát a LAT-nak – és a többi, a földön vagy a világűrben elhelyezett teleszkóp-nak. A GBM méréseiből katalógust kívánnak létrehozni, amely többek között tartalmazza a kitörések fluenciáját, csúcspontosságát és időbeli lezajlását. Az állandó adatrögzítésnek köszönhetően utólag olyan gam-

ma-kitörések nyomai után is lehet majd keresni, amelyeket valós időben nem észleltek a detektorok. Ez háromszorosára növeli a GBM érzékenységét (0,35 foton/cm<sup>2</sup>/s). A két műszer együttes megfigyelései magyarázattal szolgálhatnak a kitörések alacsony-(keV/MeV) és nagyenergiájú (GeV) gamma-foton kibocsátása közötti kapcsolatra, amely megfelelő detektorok híján a mai napig nem tisztázott. Emellett az eddigieknél sokkal részletesebb energiaspektrumot adhatnak, ugyanis a jelenleg rendelkezésre álló adatok nem mutatják meg egyértelműen, milyen módon történik az energia kibocsátása.

A cikk szerzői, akik jelenleg is egy – az OTKA T048870 és T07507 számú témái által támogatott – gamma-kitörések vizsgálatával foglalkozó hazai kutatócsoport tagjai, nagy várakozással tekintenek a GLAST mérései által megnyíló lehetőségek felé.

Linkajánló:

GLAST-misszió: <http://glast.gsfc.nasa.gov/>  
LAT: <http://glast.stanford.edu/>  
GBM: <http://gammaray.nsstc.nasa.gov/gbm/>  
CGRO-misszió: <http://coss.gsfc.nasa.gov/docs/cgro/>  
EGRET: <http://coss.gsfc.nasa.gov/docs/cgro/egret/>  
BATSE: <http://batse.msfc.nasa.gov/batse/>

## FIZIKATÖRTÉNETI IRODALMUNK A 19. SZÁZADBAN

Magyarországon a fizikatörténeti kutatások a 19. században kezdődtek. Az akkor megjelent hazai szerzők munkái elsősorban életrajzi jelegűek voltak, akárcsak a magyarra lefordított művek. A Magyar Tudományos Akadémia is elsősorban arra törekedett, hogy az elhunyt fizikus-akadémikusokról önálló emlékfüzeteket jelentessen meg, s mára már egy-egy ilyen kis kötet értékes forrásul szolgál a fizikatörténészek számára. Nézzük át, hogy a 19. században akadémikussá lett fizikusainknak, fizikatanárainknak milyen emléket állítottak egykoron fiatalabb tudós kortársaik.

Az első fizikus-akadémikus *Tarczy Lajos* volt, akit 1838-ban fogadott tagjai sorába a testület, s akiről 1885-ben jelent meg önálló kiadványként tudománytörténeti visszaemlékezés. *Jedlik Ányos Sztoczek Józseffel* együtt 1858-ban lett a testület tagja, róluk az *Akadémiai Emlékbeszédek* sorozatban ugyan nem jelent meg kötet, de mindkettejükéről készült értékes, részletes, s szellemi utódaik számára is fontos visszaemlékezés. *Jedlikről Eötvös Loránd* írt egy nagyon gondosan előkészített emlékbeszédet, itt a gondosságot az jelentette, hogy Eötvös még *Jedlik győri rendtársaival* is levelezett, hogy minél objektívebben mutathassa be egykori tudóstársát. *Sztoczekről* ugyancsak fiatalabb tudóstársa, egyben utóda, *id. Szily Kálmán* értekezett, s ez a periodikában történt közlés után *Szily* 1898-as tanulmánykötetében ismét napvilágot látott.

A termodinamika kiváló tudója, *Greguss Gyula* 1864-ben lett akadémikus, aki sajnos fiatalon, 1869-ben elhunyt, s ezt követően testvére, a neves esztétikaprofesszor, *Greguss Ágost* állított neki emléket, közreadván legfontosabb fizikai és fizikatörténeti publikációit is. Életrajzát is ez a munka örökítette meg számunkra. Egy évvel később, 1865-ben lett akadémikus *id. Szily Kálmán*, a későbbi műegyetemi professzor, dékán és rektor, majd az Akadémia főtitkára, akinek 80. születésnapjára, 1918-ra jelent meg összefoglaló munka írásairól, munkásságáról. *Szily* 1924-ben hunyt el, rá egy későbbi akadémiai ülésen emlékeztek, s ennek kapcsán született egy nagy emlékbeszéd, amely 1933-ban került ki a sajtó alól.

*Eötvös Loránd* 1873-ban lett – igen fiatalon – a tudós testület tagja, 1919-ben hunyt el, de ez az időszak nemigen kedvezett az önálló emlékbeszédek kiadásának. Szerencsére az általa alapított társulat folyóirata, a *Fizikai Szemle* jogelődje, a *Mathematikai és Fizikai Lapok* már 1918-ban életművének összefoglalására törekedett, s másfél évtizedre rá közreadott a nagy *Eötvös-emlék-könyv* is, s utána még jó néhány fontos visszaemlékező írás készült. *Fröhlich Izidor* hosszú évtizedeken át vett részt az Akadémia munkájában, 1880-ban lett tag, s a róla készült emlékkötet 1936-ban látott napvilágot.

*Szily* legismertebb segítője, *Heller Ágoston*, a *Természettudományi Közlöny* szerkesztője, később az Akadémia főkönyvtárosa, aki előadóként részese volt az egykori műegyetemi fizikatanításnak is, 1887-ben lett a tudós testület tagja, 1902-ben hunyt el, s a következő évben jelent meg róla önálló kiadvány formájában akadémiai megemlékezés. Számunkra azért is fontos *Heller* személye, mert korának egyik legismertebb fizikatörténésze volt.

19. századi akadémikusaink sorát hadd zárjuk *Farkas Gyulával*, aki kolozsvári professzorként 1898-ban lett a Magyar Tudományos Akadémia levelező, 1914-ben pedig rendes tagja, s az 1930-ban elhunyt tudós fizikusról 1933-ban jelent meg, ugyancsak önálló kiadvány formájában akadémiai emlékbeszéd.



A 19. században több külföldi fizikust, fizikatanárt is tagjává választott az Akadémia, köztük *Jean Victor Poncelet* francia fizikus-matematikust 1847-ben. A következő nagy tagválasztás 1858-ban volt (a magyarországiak közül ekkor lett tag *Jedlik* és *Sztoczek*), a külföldiek közül ekkor került be a hazai tudós testületbe *Andreas Baumgartner* osztrák fizikus, *Andreas Ettingshausen* osztrák fizikus-matematikust és *Michael Faraday* angol fizikus.

A 19. század ezt követő négy évtizedében Akadémiánk tiszteleti tagjává fogadta a következő, fizikával is foglalkozó neves professzorokat: *Johann August Grunert* német fizikus-matematikust 1860-ban és *Henri Victor Regnault* francia fizikus-kémikust 1861-ben.