

A gammakitörések felfedezése

1963-ban a Szovjetunió, az Amerikai Egyesült Államok és Nagy-Britannia képviselői Moszkvában aláírták a Nemzetközi Atomcsend Egyezményt¹ (Nuclear Test Ban Treaty), amely megtiltja a nukleáris robbantási kísérleteket a légkörben, a világűrben és a víz alatt.² Ezen egyezmény ellenőrzését az Egyesült Államok a Vela műholdakkal végezte.

A programot 1959-ben indították el, viszonylag csekély költségvetéssel. A hat Vela Hotel műhold űrbéli robbantások után kutatott, míg az Advanced Vela a földi robbantások megfigyelését is végezte. A légköri atom- vagy hidrogénbomba-robbanás a másodperc töredékéig tartó villanást hoz létre a gammasugárzás tartományában. A műholdak milliszekundumos felbontásban figyelték a jelenségeket, így több műhold együttes megfigyelése esetén a forrás térbeli helyzete egyszerű háromszögeléses módszerrel meghatározható volt. Nukleáris bomba robbanását a röntgensugárzás jelzi, amelyet a gamma- és neutrondetektorok megfigyelése erősített volna meg. A Hold túloldalán való robbantást például közvetlenül nem észlelték volna a Vela műholdak, de a robbanás által hirtelen felvert radioaktív port az aktivált atommagok gammasugárzását megfigyelve tudták volna azonosítani.

Roy Klebesadel, a Los Alamos Scientific Laboratory munkatársa (aki a Vela műholdak építésében is részt vett) elemezte a megfigyelt adatokat. Kiválogatta azokat a megfigyelési eredményeket, amelyek biztosan nem nukleáris robbanást jeleztek. 1972-ben *I. Strong*, Klebesadel és *R. Olsen* értékelte ki ezeket az adato-

kat. Összesen 16 olyan eseményt találtak, amelyek bizonyosan nem földi, szoláris vagy lunáris eredetűek voltak. Ebből az eredményből született meg az első gammakitörés-észlelés.

A kitörések „fénygörbéi”

Amíg a csillagászatban előforduló legtöbb, időszakosan felvillanó forrásnak jellegzetes a fénygörbéje (a tipikusan gyors fényességnövekedést fokozatos halványulás követi, mint például a növőknál és szupernövőknál), a gammakitöréseknél ez igen különböző. Nincs két olyan kitörés, amelynek fénygörbéje hasonlítana egymásra. Ellenkezőleg, csaknem összes megfigyelhető tulajdonságukban különböznek: a megfigyelhető emisszió időtartama milliszekundumtól néhány percig is eltarthat, lehet egyetlen, vagy akár több intenzitáscsúcs is, a csúcsok lehetnek szimmetrikusak, vagy gyors fényességnövekedést lassú csökkenés követhet. Néhány kitörést egy gyenge, rövid intenzitásnövekedés, az úgynevezett előfutár esemény előz meg, amelyet (néhány másodperc, esetleg perc múlva) egy sokkal erősebb követ. Egyes kitörések fénygörbéje rendkívül kaotikus, minden felismerhető szerkezetet nélkülöz.

Jóllehet néhány fénygörbét megfelelően választott, egyszerű modellel reprodukálni lehet, eddig nem tudták megmagyarázni, hogy miért van ekkora különbség az egyes görbék között (*I. ábra*). Napjainkig sok osztályozási rendszert javasoltak, de ezek gyakran pusztán a fénygörbék megfigyelhető tulajdonságain alapultak, és nem mindig vették tekintetbe a kitöréseket létrehozó objektumok közötti fizikai különbségeket. A kitörések megfigyelhető időtartamának eloszlása jellegzetesen „kétpúpú”, ami azt sugallja, hogy alapvetően két csoport létezik: a „rövid” kitöréseké, amelyek átlagos időtartama 0,3 s, illetve a „hosszúaké”, amelynél a kitörés átlagos időtartama 30 s. Mindkét csoportban az időtar-

A cikk elkészítését az OTKA K077795 téma támogatta.

¹ Az egyezményről: http://en.wikipedia.org/wiki/Comprehensive_Nuclear-Test-Ban_Treaty

² A teljes szöveg: <http://www.ctbto.org/fileadmin/content/treaty/treatytext.tt.html>

tam eloszlása igen tág határok közötti és jelentős átfedés van közöttük. Így, pusztán az időtartam alapján nehéz megmondani hogy egy kitörés melyik csoportba tartozik. Mind elméleti, mind megfigyelési alapon ezen a kétfokozatú rendszeren túlmenően további osztályok bevezetését is javasolták.

A kitörések általános jellemzői

Az 1980-as évek végéig közel 500 gammafelvilanást észleltek a műholdak. A felvilanások eredete azonban tisztázásra várt. Nem volt egy azonosított forrás sem (kivéve a lágygamma-ismételőket – lásd később), de még azt sem tudtuk, milyen messze lehetnek a források. Ezért az sem volt ismert, hogy egy forrás energiazabadoitása mekkora, ugyanis a mért gammasugárzást okozhatta egy közeli – abszolút értelemben gyenge – forrás, de egy távoli, sokkal erősebb forrás is.

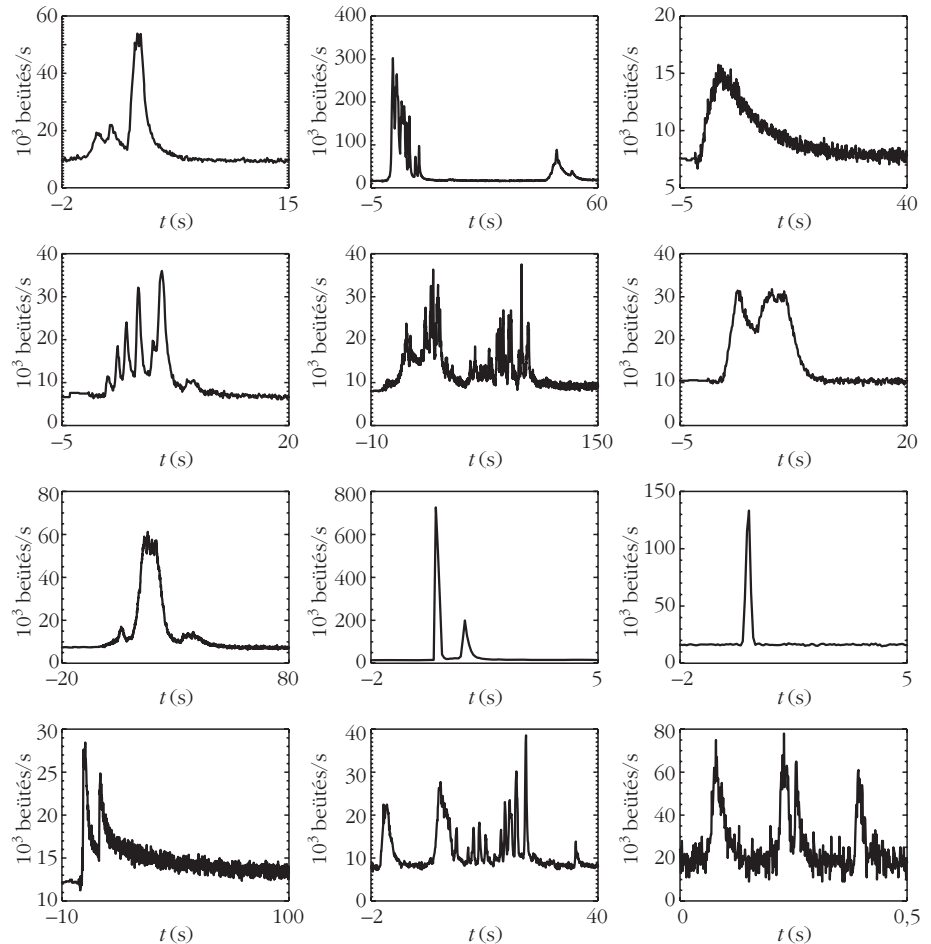
A NASA négy nagy megfigyelő műholdja közül a Compton Gammásugár Obszervatóriumot (CGRO) 1991. április 5-én bocsátották fel a gammatartomány megfigyelésére. A műhold 2000 júniusáig működött. 2000. június 4-én a NASA döntése után visszairányították a Földre. Részben elégett a légkörben, és maradványai a Csendes-óceánba hullottak.

A műhold fedelzetén négy műszer működött:

- Burst And Transient Source Experiment (BATSE),
- Oriented Scintillation Spectrometer Experiment (OSSE),
- Imaging Compton Telescope (COMPTEL),
- Energetic Gamma Ray Experiment Telescope (EGRET).

Ezek közül a legtöbb forrást (2704 kitörést) a BATSE észlelte (lásd később az 5. ábrát). A gammakitörések kutatásában a CGRO áttörést hozott, de a forrásokat nem lehetett ismert asztrofizikai objektumokkal azonosítani, mivel az űrszonda a beérkező sugárzás irányát csak nagyon pontatlanul tudta meghatározni.

1997-ben a holland–olasz Beppo-SAX műholdnak sikerült elsőként a gammakitöréseket kísérő röntgensugárzás irányát néhány ívperc pontossággal meghatározni, az első esetben 8 órával a kitörés után. Már az első három azonosított forrás is nagyon messze volt Földünkötől (a vöröseltolódásuk $0,5 < z < 1$ között esett). A negyedik azonosított forrás már túl volt az ismert Világegyetem felén ($z = 3,42$).

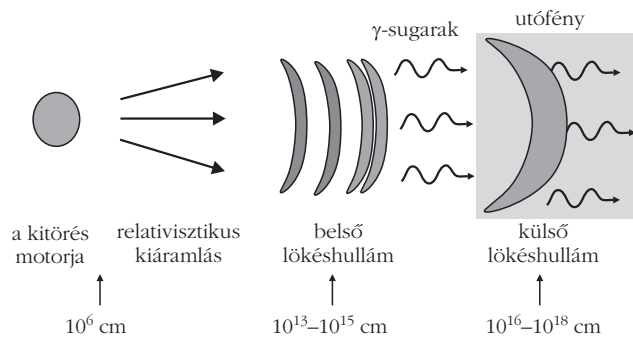


1. ábra. Néhány kitörés „gammafénygörbéje”.

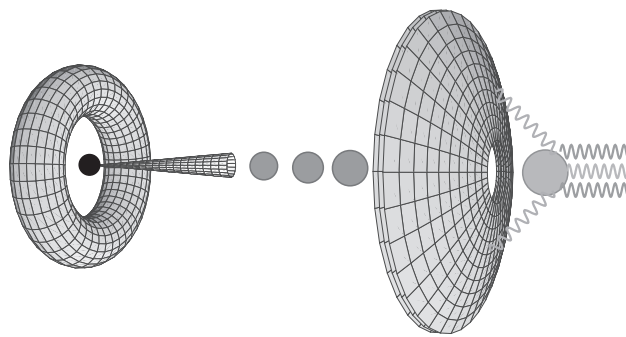
A távoli eredet miatt le kellett vonni a következtetést, miszerint a gammakitöréseket kiváltó folyamatban sokkal rövidebb idő alatt sokkal nagyobb energia szabadul fel, mint amekkorát bármely eddig ismert folyamat megenged. Ha az energiakibocsátást izotroponak feltételezzük, a felszabadult energia nagyjából azzal egyenértékű, mintha a Nap tömegének jelentős része néhány másodperc alatt szétsugárzódna (körülbelül 10^{44} – 10^{47} joule). Az energia ilyen mértékű felszabadulására a gammasugárforrások alaptípusaira két általánosan elfogadott elmélet létezik.

A „hosszú” gammakitörések

A hosszabb ideig tartó, de lágyabb, azaz az energia nagy részét inkább kisebb energiájú fotonokban kisugárzó kitöréseket a *hipernóva* jelenségével magyarázzák. Miután egy legalább 40 naptömegű csillag elégeti nukleáris fűtőanyagát, fekete lyukká roskad össze. Ha a csillag tengely körüli forgása gyors, a magjába bezuhánó anyag egy gyorsan forgó, akkréciós korongba sűrűsödik össze. Ekkor a csillaganyag jelentős része a forgási síkban, spirális pályán száguld a középpont felé, ami a hatalmas gravitációs erő következtében egyfajta „generátorként” működik: vagyis sugárzó energiává alakítja az akkréciós korong anyagának egy



2. ábra. A gammakitörések tűzgolyó-modellje.



3. ábra. A gammakitörések ágyúgolyó-modellje.

részét, és azt két igen vékony, forgástengely irányú nyalábban kisugározza.

Ezt az elképzelést támasztja alá, hogy a részletesebb 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. Az pedig, hogy a gammasugárzás csupán két szűk nyalábban indul útjára, jelentősen, akár három nagyságrenddel is lecsökkentheti a kitöréshez szükséges energia mennyiségét. Ez persze azt is jelenti, hogy csak akkor vesszük észre a jelenséget, ha a kilövellés éppen felénk irányul.

A gammakitörések lefolyása

A gammakitörések létrejöttére több elméletet dolgoztak ki. Ezek közül a legelfogadottabb a tűzgolyó-modell, amelynek jellegzetessége, hogy egy központi, kis méretű objektumot tételez fel, és az ebből kilövellő anyag hozza létre a megfigyelt gammasugárzást. A 2. ábrán a modell sematikus vázát mutatjuk be. Összehasonlításképpen egy másik, az ágyúgolyó-modell is látható (3. ábra).

A gammakitörések és a szupernóvák kapcsolata

A szupernóvák nagy tömegű csillagok explozív halálát jelzik. A kitörés tartamának néhány hete alatt a szupernóva fényessége meghaladhatja a befogadó galaxis csillagainak összfényességét. Ha az így felszabaduló energia nem lenne elég, létezik egy ritkán előforduló szupererős változat, a hipernóva. A „tipikus” szupernóvánál százszor nagyobb energiát felszabadító hipernóvát szintén kapcsolatba hozták a gammakitörésekkel, a gammasugárzást alkotó fotonokkal, amely az elektromágneses sugárzás legnagyobb energiájú formája.

Úgy gondolják, hogy gammakitörés akkor jön létre, amikor a csillag belsejében az összeroskadó anyag hatására lökeshullám keletkezik, amely hipernóva-

robbanást indít el. A gammasugárzás a fény sebességével, a csillag anyagából induló lökeshullám ennél valamivel lassabban – egy meghatározott irányba lövődik ki.

A csillag anyaga egy keskeny kúpszögű nyalábban kilövellve ütközik a csillagközi anyagban levő gázzal és porral, és új fotonok kisugárzását gerjeszti, időben fokozatosan csökkenő energiával, amit *utófénynek* neveznek. Ez röntgen- és ultraibolya sugárzást, látható fényt, infravörös és mikrohullámokat, illetve rádiósugárzást foglal magában. A kitörés és az utófény akkor észlelhető, ha a Föld a kitörés tengelyében, vagy annak a közelében van.

Galaxisonként és évszázadonként átlagosan egy szupernóva kitörését várhatjuk, és nagyságrendileg 100 milliárd galaxissal számolhatunk a számunkra megfigyelhető Világegyetemben (ez a Világegyetemnek azt a részét jelöli, ahonnan a fénynek elegendő ideje volt, hogy elérjen bennünket). Föltételezve, hogy a Világegyetem 10 milliárd éves, *Richard Mulshtzky*, a NASA Goddard Space Flight Center kutatója 1 milliárd szupernóvát becsül évente. Ez másodpercenként 30 szupernóva kialakulását jelenti az egész Világegyetemben! (Valójában a kor 13,7 milliárd év, de csillagok még nem alakultak ki az első néhány százmillió évben, és egyébként is ez csak egy becslés.)

A gammakitörést az összeroskadó csillagmagokból létrejövő hipernóvával magyarázó (hipernóva/kollapszár) modell helyes voltára meggyőző bizonyítékot kaptunk 2003 elején. Ezt jórészt egy „közele” kitörésnek köszönhetjük, amelynek az égi koordinátáiról a csillagászokat a Gamma-ray Burst Coordinates Network (GCN) tudósította. 2003. március 29-én a GRB 030329 jelű,³ hozzánk eléggé közel villant fel ahhoz, hogy az eseményt követő megfigyelések a gammakitörések titkának megoldásához vezethessenek. A kitörést követő utófény optikai szinképe csaknem azonos volt az 1998-ban megfigyelt SN1998bw szupernóvájával. Ezen túlmenően a röntgentartományban észlelt mesterséges holdak a lökeshullám által összenyomott és felhevített oxigén ugyanolyan jellemzőit találták, mint amilyenek a szupernóvákban figyelhetők meg.

³ GRB 030329: a szokásos elnevezés szerint a gamma ray burst (GRB) kezdőbetűi után az év, hónap és nap 2-2 számjegye azonosítja az észlelt gammakitörést.

Ilyen módon a csillagászoknak sikerült egy viszonylag közeli („mindössze” 2 milliárd fényév távolságú) gammakitörés utófényét megfigyelni, amelyek igen hasonló volt egy szupernóváéhoz.

Nem tudjuk, hogy minden hipernóva gammakitöréshez vezet-e. Mindenesetre a csillagászok úgy gondolják, hogy minden 100 000 szupernóvára jut egy hipernóva. Ez napi egy kitörést jelent, ami nagyjából annyi, amennyit megfigyelnek.

Csaknem bizonyos, hogy a csillag magja, amely egy hipernóva közepén van, elegendően nagy tömegű ahhoz, hogy fekete lyukká roskadjon össze (sokkal inkább, mint neutroncsillaggá). Így minden megfigyelt gammakitörés egy újszülött fekete lyuk első „sírása”.

A rövid gammakitörések

A csillagászok úgy vélik, hogy értik, mi indítja el a gammakitöréseket a kollapszár/hipernóva modellben, de tisztában vannak azzal is, hogy vannak még megoldatlan problémák. Például ez a modell csak hosszú időtartamú gammakitörésekre működik – olyanokra, amelyek hosszabbak 2 másodpercnél, és átlagosan 30 másodpercig tartanak –, valamint jól meghatározott kitörést jól meghatározott kisebb energiájú utófény követ. A rövid időtartamú gammakitörések néhány ezred másodperctől – definíció szerint – 2 másodpercig tartanak, átlagos hosszuk 0,3 másodperc. A rövid kitörések lényegesen halványabbak a hosszúaknál, nagyjából egy 10-es faktorial. Ezen túlmenően, a rövid kitörések relatíve több nagyobb energiájú gamma-sugarat bocsátanak ki, mint a hosszúak. Végül, arra is utalnak jelek, hogy a hosszú kitörések esetén az energia átalakítása gammasugárzásra állandó ütemben történik, míg a rövidiek esetén ez a hatékonyság a kitörés folyamán csökken.

2003-ban a High Energy Transient Explorer 2 mesterséges hold (HETE-2) szolgáltatotta az első bizonyítékokat a rövid gammakitörések utófényének létezésére, ezzel kiemelte ezt a gammakitörés-fajtát a „sötét” kategóriából – vagyis azok közül, amelyeknek nincs optikailag is megfigyelhető utófényük. Az utófény azonban, amelyik ezeket a kezdeti eredményeket adta, túlságosan rövid volt ahhoz, hogy meg lehessen határozni a kitörés távolságát. Ezen túlmenően a rövid kitörések tulajdonságai arra utaltak, hogy létrejöttük alapvetően más fizikai folyamatok eredménye, esetleg két neutroncsillag, két fekete lyuk, vagy egy neutroncsillag és egy fekete lyuk összeolvadásából jönnek létre.

Egyes gammakitörések energiája kicsi, ezért inkább a röntgenkitörések – X-ray flashes, XRF – csoportjához soroljuk őket. A BATSE műszer még nem „látta” ezeket a kitöréseket.

A csillagászok többnyire egyetértenek abban, hogy a rövid kitörések nem kapcsolódnak szupernóvákhöz, vagyis rájuk nem illik a kollapszár/hipernóva modell. A megfigyelt jellemzőik alapján valamilyen más jelenségre gondolnak, kisméretű, nagy tö-

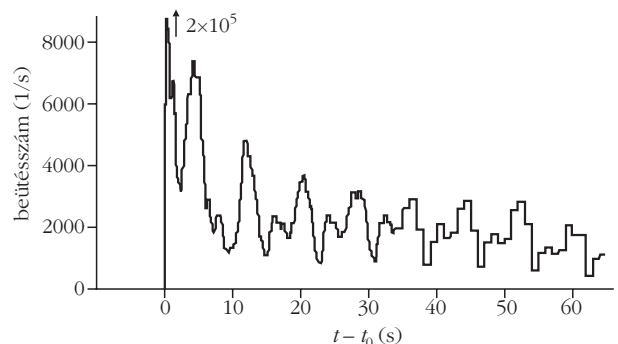
megű objektumok, például neutroncsillagok összeolvadására, de más lehetőségek is szóba jöhetnek. Ezek közé tartozik egy életpályáját befejező csillag magjának összeroskadása, amely azt jelentené, hogy a rövid kitörésekre is tulajdonképpen a kollapszár/hipernóva modell vonatkozik. Esetleg az is lehet, hogy a gammakitöréseknek ez a fajtája csupán geometriai effektus miatt alakul ki. Minthogy a gammakitörés egy tengely mentén jön létre, szemben a szferikus táguló burokkal, a kisebb megfigyelhető energia és az utófény hiánya megfigyelési „kiválasztási effektus” is lehet. Vagyis ilyenkor a Föld a gammakitörés kúpjának szélén van, és így az észlelő csak gyenge kitörést detektál. Ilyen módon a rövid gammakitörések és a kisebb energiájú röntgenmegfelelőik (a röntgenkitörések = XRF) mindketten „valójában” rendes, hosszú kitörések, amelyeket sűrű beesési szögben csak rövid ideig látunk. (A gamma- és a röntgenkitörések szétválasztása attól függ, hol húzunk meg a választóvonalat a röntgen- és a gammasugárzás között, ami bizonyos mértékig önkényes, mivel a keményröntgensugarakat gyakran lágygammasugaraknak is nevezik.)

További megfigyelési munka, különösen az utófények részletes vizsgálata teszi majd lehetővé, hogy a csillagászok meghatározzák, milyen messze vannak a rövid gammakitörések. Csak a távolság ismeretében tudunk tiszta képet alkotni ezekről a robbanásokról, amelyek a 13,7 milliárd évvel ezelőtt történt ősrobbanás óta a legnagyobbak.

Lágygamma-ismétlők

Az első lágygamma-ismétlőket (soft gamma repeater, SGR) 1979-ben fedezték fel (4. ábra), mégpedig a máig ismert hat SGR-ből hármat. Januárban a Sagittarius csillagképben találták meg az első ismétlő gammaforrást, majd márciusban egy nem mindennapi esemény történt. A Helios-2 és a Pioneer Venus Orbiter detektorai szaturálódtak (a maximálisan megfigyelhető beütésszámot mérték). A jel intenzitása százszorosan meghaladta az addig megfigyelt legerősebb, Naprendszeren kívüli gammaforrás erősségét. A forrás a Nagy Magellán-felhő egyik szupernóva-maradványa volt.

4. ábra. Az egyik 1979-es SGR-esemény „fénygörbéje”.



Néhány nap múlva egy újabb forrást fedeztek fel,⁴ amely a gammasugár-tartományban három nap alatt háromszor is felfénylett. Mivel az addig megfigyelt több száz gammakitörés között egyszer sem sikerült ismétlést kimutatni, ezek a jelenségek egy új típusú objektumra utaltak. A felfedezett három forrás legintenzívebben a lágygammában és a röntgentartományban sugárzott, tehát a sugárzás energiaeloszlásában is megkülönböztethető módon jelentkezett.

1998-ban bebizonyították, hogy az úgynevezett magnetárok (rendkívül erős mágneses terű neutroncsillagok) és a lágy ismétlők között kapcsolat áll fenn. A források a „lecsengő” fázisban pulzációt mutathatnak. A lágygamma-ismétlőket tipikusan nagyon rövid kitörések jellemzik.

A gammakitörések eloszlása az égbolton

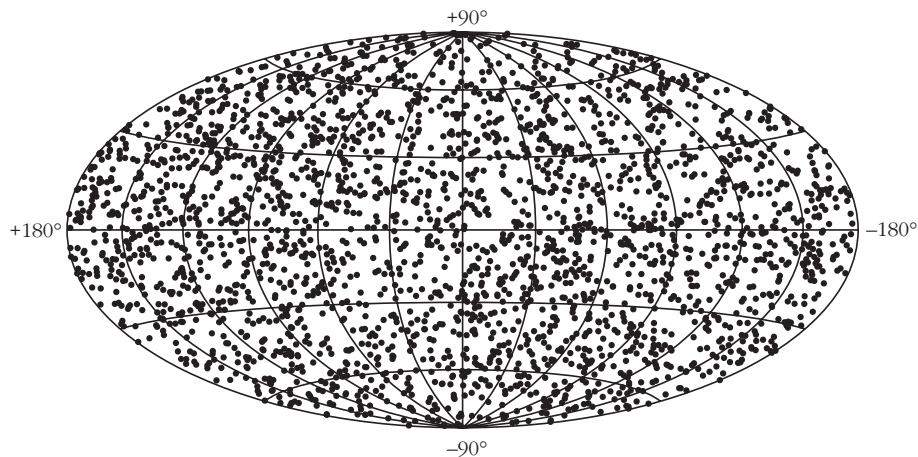
A megfigyelések szerint a kitörések többé-kevésbé egyenletesen népesítik be az eget (5. ábra). Ha a források a Galaxis csillagaival lennének kapcsolatban, akkor a helyük az égret vetítve a galaktikus fősíket követné.

Az optikai utófények segítségével kapott vöröseltolódások megmutatták, hogy a hosszú kitörések a kozmosz legtávolabbi ismert objektumaihoz kapcsolódnak. A rövidekre kapott vöröseltolódás-értékek szerint távolságuk a hosszúakénál ugyan kisebb, de még így is kozmológiai léptékű. A gammakitörések így a Világegyetem anyagának nagyskálájú vizsgálatára is alkalmasak.

Magyar kutatók eredményei⁵ is igazolják, hogy a hosszú kitörések véletlenszerűen népesítik be az eget. Ezzel szemben a rövidek eloszlása nem teljesen véletlenszerű.

A gammakitöréseket követő röntgen-, illetve optikai utófény

A kitörésekben keletkező nagy energiájú gammasugárzás az energiefelzabálás során bekövetkező részecskefizikai folyamatok eredménye. A kirobbanó, relativisztikusan mozgó anyagnyaláb és környező anyag kölcsönhatása során jön létre a robbanást kö-



5. ábra. A CGRO BATSE műszere által detektált 2704 kitörés eloszlása az égbolton.

vető, kisebb energiájú röntgen-, UV- és optikai sugárzás, a GRB utófénylése (2. ábra). A jet energiája ilyenkor egy vagy több lökéshullámfrontban lép kölcsönhatásba a környező közeggel.

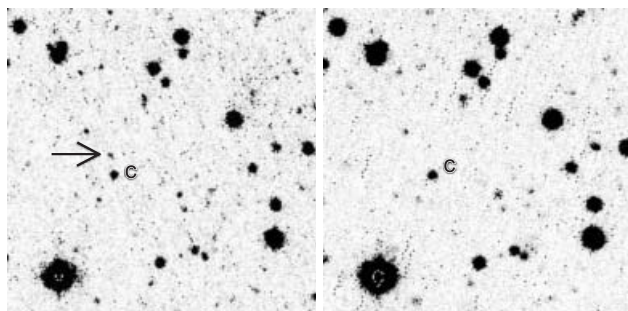
A gammakitörések kutatásában fontos áttörést jelentett, amikor 1997 februárjában a BeppoSAX mesterséges hold röntgenkamerájával sikerült megfigyelni a gammasugár-kitörést követő, halványuló röntgen-utófénylést. A későbbi megfigyelések arra is fényt derítettek, hogy az intenzitáscsökkenés megfigyelt módja nem egyeztethető össze egy szferikusan robbanó tűzgömb elképzeléssel, hanem igazolták a keskeny, relativisztikus sebességű sugárnyaláb létezését.

A korábbi BATSE-adatok tanulmányozása már az 1990-es években elkezdődött a Csillagászati Kutatóintézetben, és az elsők között kapcsolódtunk be a GRB utófénylések keresésébe is (6. ábra).

A GRB070508 gamma-, röntgen- és optikai megfigyelései lehetővé tették, hogy a kibocsátó forrás távolságát meghatározzuk. A folyamatos fénycsökkenés után talált, tovább nem halványuló objektum egy távoli ($z = 0,835$) galaxisnak bizonyult, vagyis a GRB fizikai kapcsolatban volt ezzel a kozmológiai távolságban levő extragalaxissal.

A GRB utófénylések megfigyelt száma akkor növekedett meg ugrásszerűen, amikor felbocsátották a NASA Swift mesterséges holdját. A Swift 2004. novem-

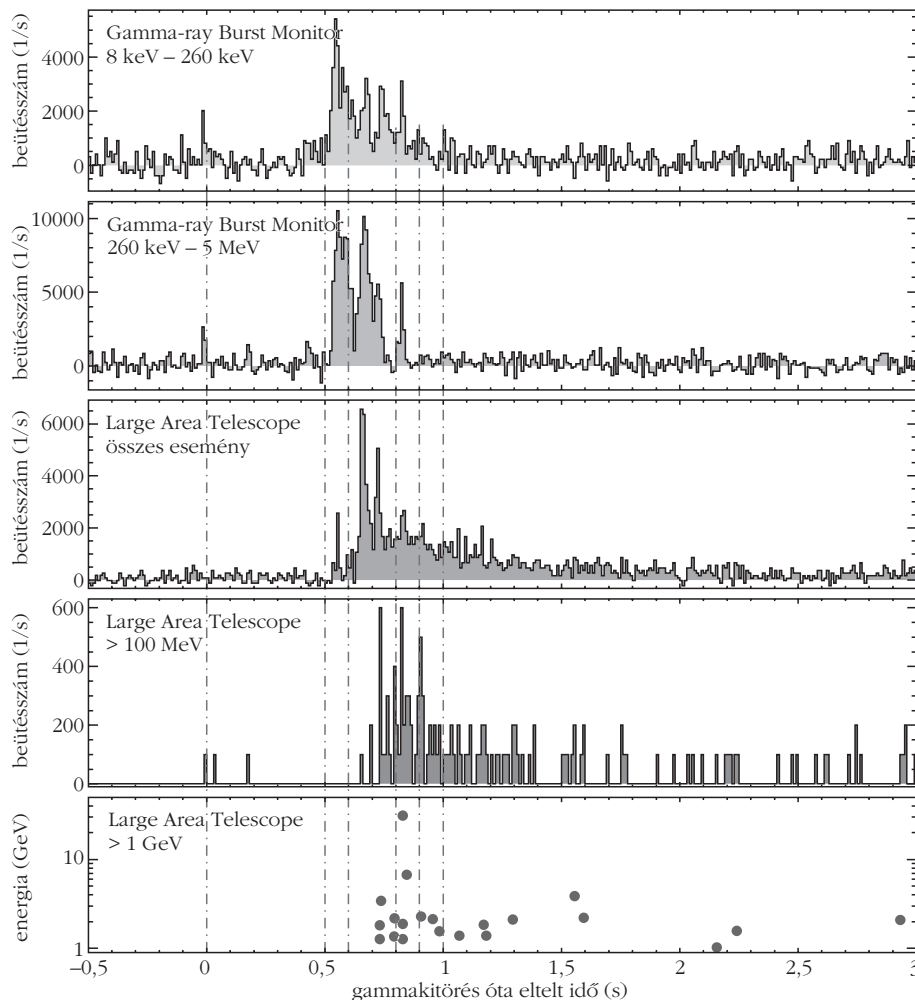
6. ábra. Gammakitörés optikai tranziensének első hazai megfigyelése.⁶ A bal oldali kép 1997. május 15-én készült, a jobb oldali 1997. június 1-jén. A későbbi képen nyoma sincs a bal oldalon nyílal jelzett optikai tranziens forrásnak. (A c jelű objektum az összehasonlító csillag.)



⁴ <http://solomon.as.utexas.edu/~duncan/magnetar.html#Discovery>

⁵ Vavrek, R., Balázs, L. G., Mészáros, A., Horváth, I., Bagoly, Z.: Testing the randomness in the sky-distribution of gamma-ray bursts. *MNRAS* 391 (2008) 1741.

⁶ Kelemen, J.: Observation of the optical counterpart of the GRB970508 source. *Information Bulletin on Variable Stars* (1997) 4496.



7. ábra. A GRB090510 kitörés fénygörbéje különböző energiasávokban a Fermi űrtávcső mérései alapján. A nagy energiájú fotonok láthatóan bizonyos időközességgel érkeznek.

lyán kering. Főműszere a nagylátószögű távcső (Large Area Telescope – LAT), amely lehetővé teszi az egész égboltra kiterjedő, átfogó kozmológiai, illetve asztrofizikai vizsgálatokat. Az észlelt objektumok között találhatóak többek között aktív galaxismagok, pulzárak, illetve más nagy energiájú források, továbbá a sötét anyag. A Fermi másik fontos észlelőműszere a gammakitörés-monitor (Gamma-ray Burst Monitor – GBM).

Az FGST-t 2008. június 11-én indították útjára. Az űrmisszió a NASA, a US Department of Energy, valamint a francia, német, olasz, japán és svéd kormányzati űrügynökségek közös vállalkozása.

Az FGST-vel végzett egyik legérdekesebb kísérlet a Lorentz-invariancia érvényességének ellenőrzése volt. Bizonyos kvantumgravitációs elméletek szerint a Lorentz-invariancia sérülhet, és azt jósolják, hogy a fotonok sebessége függ az energiájuktól. E függés következtében két különböző energiájú foton, amely egyébként egyszerre indul el egy távoli asztrofizikai forrásból, nem

ber 20-i indítása új lehetőségekkel bővítette a GRB-k kutatását. A Swift által érzékelt kitörések optikai utófényének nyomon követésében fontos szerepet kapnak a földfelszíni automata teleszkópok, illetve a belőlük felépülő hálózatok.

Az ilyen teleszkópokra jó példa a Mount Palomar Observatóriumban automatizált 1,5 méter tükörméretű teleszkóp, amely a GRB helyén R és I sávban akár 22-23 magnitúdós határfényességig képes követni a halványodó optikai utófénylést. A halvány objektumok és a GRB-re jellemző nagy vöröseltolódás esetén a többszín-fotometria is felhasználható a z közelítő meghatározására vagy korlát megadására.

Nemzetközi együttműködés keretében az MTA Csillagászati Kutatóintézete részt vesz a gammakitörések P60 teleszkóppal megfigyelt optikai utófényének fotometriai feldolgozásában.

Fermi műhold – Sérül a Lorentz invariancia?

A Fermi Gamma Űrteleszkóp (Fermi Gamma-ray Space Telescope – FGST) – légkörön kívüli gammaészlelésekre létrehozott obszervatórium – a Földhöz közeli pá-

ugyanabban az időben érkezik a Földre. Az effektus nagysága függ az úgynevezett kvantumgravitációs tömegtől (quantum-gravity mass – M_{QG}), attól a paramétertől, amely meghatározza azt az energiatarományt, amelyben a kvantumgravitációs effektusok a Lorentz-invariancia jelentős sérülését okozzák. Úgy gondolják, hogy nagysága a Planck-tömeg környékén van ($M_{\text{Planck}} \equiv \hbar c / \lambda_{\text{Planck}} \sim 10^{19} \text{ GeV}/c^2$) és nagyon valószínű, hogy annál kisebb.

A fény sebességének akár a legkisebb energiafüggése is kimutatható kozmológiai távolságokon, ahol a hatás az út során összegződik, és például a gammakitörések fénygörbéjében megfelelő időfelbontás esetén mérhetővé válhat. A LAT- és GBM-műszerekkel észlelt GRB090510 jelű kitörés segítségével az eddigieknél sokkal pontosabb korlátot sikerült adni a fénysebesség fotonenergiától való függésére.

A GRB090510, illetve GRB080916c jelű kitörésekről a GBM, valamint LAT műszerekkel kapott szélessávú (8 keV-től 300 GeV-ig) mérések (7. ábra) segítségével alsó korlátot kaptak M_{QG} értékére, amely nagyobb-nak adódott, mint a Planck-tömeg. A Planck-tömegnél nagyobb M_{QG} érték segítségével ki lehetett zárni az ennél kisebb értéket jósoló elméleteket.

A gammakitörések gyakorisága és hatása a földi életre

Jelenleg a Föld körül keringő mesterséges holdak naponta átlagosan egy gammakitörést észlelnek. Mint-hogy a gammakitörések akkora távolságról látszanak, amely felöleli csaknem az egész megfigyelhető Világegyetemet, egy akkora térfogatot, amely több milliárd galaxist tartalmaz, arra kell következtetnünk, hogy az ilyen kitörések rendkívül ritkák egy-egy galaxisban. A tényleges gyakoriság meghatározása nehéz, de egy Tejútrendszerhez hasonló csillagrendszerben ilyen kitörés (hosszú gammakitörésekre gondolva) 100 000–1 000 000 évente egyszer fordul elő. Ezeknek csak néhány százaléka lövell ki nyalábot a Föld felé. A rövid kitörések gyakoriságának becslése még ennél is sokkal bizonytalanabb, minthogy a gammasugarakat kibocsátó nyaláb nyílásszöge nem ismert, de gyakoriságuk valószínűleg a hosszúakéhoz hasonló.

Egy gammakitörés a Tejútrendszerben, a Földhöz elegendően közel és felénk irányuló nyalábbal igen komoly hatást gyakorolna a bioszférára. A sugárzás elnyelése a légkörben a nitrogén fotodisszociációját

okozná nitrogénoxidot létrehozva, amely katalizátor-ként szolgál az ózon lebontásához. Egy 2004-ben készült tanulmány szerint egy 1 kiloparszek távolságban bekövetkező gammakitörés a Föld ózonpajzsának felét szétrombolná, a kitörésből származó közvetlen UV-sugárzás a Napéval együtt áthatolna az elvékonyodott ózonrétegen, és tömeges kihalást elindítva minden bizonnyal komolyan befolyásolná a táplálékláncot. Egyes becslések szerint ilyen kitörés milliárd évenként egyszer fordul elő, és van, aki szerint a földtörténeti ordovicium–szilur korok határán bekövetkezett kihalás ilyen kitörés eredménye lehetett.

Vannak arra utaló jelek, hogy a hosszú kitörések többnyire, esetleg kizárólag alacsony fémtartalmú régiókban történnek. Minthogy a Tejútrendszer fémekben gazdag a Föld kialakulása óta, ez a tény csökkenti, vagy teljesen kizárja annak lehetőségét, hogy az elmúlt milliárd éven belül gammakitörés jött volna létre a Tejútrendszerben. A rövid kitöréseknél nincs tudomásunk ilyen elemgyakorisági korlátról. Ennélfogva a lokális keletkezési gyakoriságtól, illetve a kitörés nyalábjának kúpszögétől függően nem lehet kizárni lehetőséget, hogy egy közeli kitörés jelentős hatást gyakorolt a Földre.