

# A gamma-kitörések vizsgálata a Fermi mesterséges holddal

*Tudományos diákköri dolgozat*

**Szécsi Dorottya**

fizika BSc III. évfolyam

Eötvös Loránd Tudományegyetem

Természettudományi Kar

**Témavezető: Horváth István**

főiskolai tanár

Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem

Bolyai János Katonai Műszaki Kar

## **Kivonat**

A kozmikus gamma-kitörések (*gamma-ray bursts*, *GRB*) detektálására napjainkban speciális műholdakat állítanak Föld körüli pályára. Ezek a holdak naponta több kitörést is észlelnek, a gyűjtött adatokat pedig a Földre továbbítják, ahol megkezdődhet az elemzésük. A legutóbb felbocsátott műhold, a *Fermi Gamma-ray Space Telescope* mérési adatait felhasználva is meg lehet vizsgálni a kitörések fizikai tulajdonságait, melyek közül itt elsősorban az időbeli lefolyással foglalkozunk. Az ezt jellemző legfontosabb paraméter az ún.  $T_{90}$ , mely azt az időtartamot jelenti, ami alatt a kitörés teljes energiájának 90%-a beérkezett. Ennek meghatározásához el kell készíteni a kitörés fénygörbét, el kell különíteni a kitörést a háttértől, a zajmentes fénygörbét föl kell integrálni, és az így kapott integrális görbéből a  $T_{90}$ -et ki kell számolni. Ezt az algoritmust leprogramozva 126, a Fermi által detektált kitörést dolgoztunk föl. Az eredményekből készített statisztikákat összehasonlítjuk más műholdak megfigyeléseiből származó statisztikákkal. Ezen kívül a dolgozat összefoglalja a gamma-kitörések általános jellemzőit, eredetüket, kutatásukat, és részletesen bemutatja a Fermi működését is.

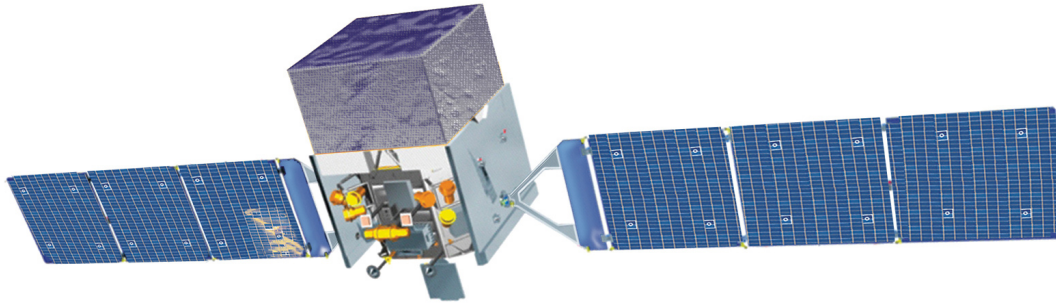
Budapest, 2009. november

## Tartalomjegyzék

<b>1. Bevezetés</b>	<b>4</b>
<b>2. A gamma-kitörések</b>	<b>5</b>
2.1. Felfedezésük és kutatásuk . . . . .	5
2.2. Eredetük . . . . .	5
2.2.1. A tűzgolyó modell . . . . .	6
2.2.2. Alternatív magyarázatok . . . . .	7
2.2.3. Nyitott kérdések . . . . .	7
<b>3. A FERMI-küldetés</b>	<b>8</b>
3.1. Műszerek . . . . .	8
3.2. A GBM detektorai . . . . .	9
3.3. A GBM-adatok típusai . . . . .	11
<b>4. Gamma-kitörések statisztikus vizsgálata</b>	<b>13</b>
4.1. A statisztikus paraméterek . . . . .	13
4.2. A paraméterek közötti összefüggések . . . . .	15
4.2.1. $T_{90}$ -hisztogram . . . . .	15
<b>5. A fénygörbék háttérillesztése és a <math>T_{90}</math></b>	<b>16</b>
5.1. A munka menete . . . . .	16
5.1.1. Az adatok . . . . .	16
5.1.2. Az adatok feldolgozása . . . . .	16
5.1.3. A háttér kezelése . . . . .	18
5.1.4. A háttér levonása és az integrális görbe elkészítése . . . . .	21
5.1.5. Az intergrális görbe feldolgozása . . . . .	21
<b>6. Eredmények</b>	<b>23</b>
6.1. A kitörések időtartamának eloszlása . . . . .	23
6.2. A $T_{90}$ és $T_{50}$ kapcsolata . . . . .	25
<b>7. Összegzés</b>	<b>26</b>
<b>8. Köszönetnyilvánítás</b>	<b>26</b>
<b>9. Függelék</b>	<b>27</b>
9.1. A dolgozatban fölhasznált kitörések listája . . . . .	27

## 1. Bevezetés

Mióta a hidegháború alatt egy véletlen során fölfedezték a gammakitöréseket, a kutatókat egyre jobban foglalkoztatja ezen rejtélyes, galaxisunk határán túlról érkező, nagyenergiás kitörések eredete és magyarázata. A műholdak és műbolygók közül sokat gammakitörést detektáló műszerekkel is felszereltek, vagy kifejezetten ilyen vizsgálatokért küldtek föl. Ilyen a *Fermi Gamma-ray Space Telescope* nevű műhold is, melynek két műszere, a LAT és a GBM 8 keV – 40 MeV energiatarományban vizsgálja az eget. [1] [21]



1. ábra. A Fermi műhold fantáziaképe

Bár a gamma-kitörések kutatása csak pár évtizedes múltra tekint vissza, a modern technikának köszönhetően meglepően sokat tudunk a jelenségről. A műholdak naponta több kitörést is detektálnak, az adatok feldolgozására számítógépek és speciális programcsomagok állnak rendelkezésre. [22] Az interneten keresztül bárki azonnal értesülhet egy új kitörés bekövetkezéséről, és hozzáférhet az adatokhoz is. [23] [21] Ennek megfelelően a kitörések fizikáját leíró elméletek száma is egyre nő, és sok közülük már kielégítően megmagyaráz egyes megfigyeléseket (sajnos nem az összeset, az ilyen elmélet még várta magára). [20] De azon kívül, hogy a mérnököket és az elméleti fizikusokat munkára sarkallja ez a jelenség, a tudományos közvélemény érdeklődésére is számot tart: eddigi ismereteink szerint a gamma-kitörések a legnagyobb energiát legrövidebb idő alatt kibocsátani képes objektumok az Univerzumban. [1] Bármilyen nagy részecskegyorsítókat építünk is, a gamma-kitörésekéhez fogható energiát ( $10^{51}$  erg, nagyságrendileg ennyit sugároz ki a Nap is teljes élete során) soha nem fogunk tudni máshogy vizsgálni, csak a Világűrben. Ezen kívül a kozmológiai ismereteinket is bővíti a kutatás: a legtávolabbi kitörések vöröseltolódása a kvazárokéval vetekszik, tehát az Univerzum nagyon korai állapotába nyerünk így bepillantást. [28]

A dolgozat a kitörések egyik legfontosabb jellemzőjét, az időbeli lefolyást vizsgálja. (Elsősorban az időtartam alapján sikerült a kitörések két csoportját elkülöníteni egymástól.) A 2. rész összefoglalja a gamma-kitörések kutatásának történetét, a kitörések általános tulajdonságait és az eredetüket magyarázó modelleket. A 3. rész részletesen bemutatja a Fermi műhold fölépítését és működését, valamint a közzétett adatok fajtáit. A 4. részben áttekintjük a statisztikus vizsgálatok módszereit és eddigi eredményeit. A 5. részben ismertetjük a kitörések időbeli lefolyásának vizsgálatára kidolgozott saját módszert, mellyel a Fermi egy éves működése során gyűjtött adatok mintegy harmadát feldolgoztuk. Végül a 6. rész bemutatja a kapott eredmények statisztikus vizsgálatát.

## 2. A gamma-kitörések

### 2.1. Felfedezésük és kutatásuk

A kozmikus gamma-kitöréseket (*gamma ray burst*, *GRB*) az 1960-as évek végén fedezték fel az amerikai Vela műholdakkal. Ezeket a holdakat a szovjetek esetleges űrbéli (főleg a Hold túlsó felén végzett) titkos nukleáris fegyverteszteléseik által kibocsátott gamma-sugár-impulzusok megfigyelésére építették. Helyettük azonban a mélyűrből érkező villanásokat találták, melyek a további vizsgálatok szerint sem a Napból, sem a Földről nem érkezhettek. Az eredményeket (a Vela műholdak 73 kitörést detektáltak) 1973-ban tették közzé, elindítva a gamma-kitörések modern tudományos kutatását. [1] Az 1. táblázatban felsorolt műholdak detektáltak gamma-kitöréseket az elmúlt harminc évben (a teljesség igénye nélkül).

Vela 1-6	1960-1970
IPN (Venera 11-12, Prognosz 7, Pioneer, Helios 2)	1976-1980
HEAO (High Energy Astrophysical Observatory, röntgen)	1977-1979
CGRO BATSE	1991-2000
BeppoSAX	1996-2002
HETE 2	2000-től
IPN 3 (INTEGRAL, RHESSI, AGILE, Mars Odyssey, MESSENGER, Wind)	1990-től
Swift	2004-től
GLAST – Fermi	2008-től

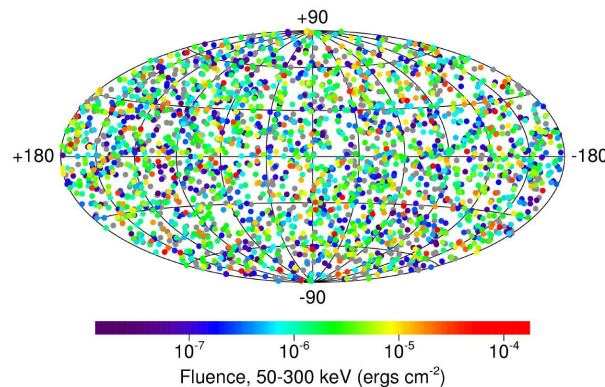
1. táblázat. Műholdak

A legjelentősebb ezek közül a Compton Gamma-Ray Observatory fedélzetén működő BATSE (Burst and Transient Source Experiment) nevű eszköz, mely közel tíz éves működése során (1991. április 5. – 2000. június 4.) több mint 2704 gamma-kitörést detektált, lefedve közel az egész égboltot. Mérései alapján dőlt el az a kérdés is, hogy vajon a gamma-kitörések extragalaktikus eredetűek-e.

Jelenleg legtöbb és legkiterjedtebb mérést a *Swift* és a *Fermi* végez.

### 2.2. Eredetük

A 2. ábrán látható a BATSE által detektált kitörések eloszlása az égbolton: jól láthatóan egyenletes, izotrop az eloszlás. [3] Ez kizárja a galaktikus eredetet, ehelyett kozmológiai távolságokat valószínűsít.



2. ábra. A BATSE által detektált gamma-kitörések eloszlása az égbolton egyenletes és izotrop.

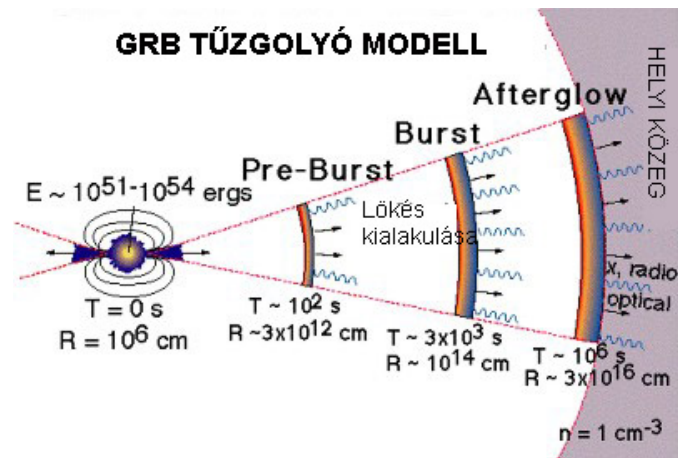
A kozmológiai eredet bizonyítékát a BeppoSax olasz-holland műhold mérése alapján nyertük,

amikor a GRB970228 jelű kitörésnél optikai tartományban utófényt mért: a vöröseltolódásból ( $z = 0,7 \pm 0,1$ ) nyilvánvaló volt, hogy extragalaktikus jelenségről van szó. [11] Azóta sok kitörésnél figyeltek meg utófényt és mértek vöröseltolódást, egyeseknek a szülőgalaxisát is azonosítani tudták.

Két különálló kategóriába esnek, attól függően, hogy 2 másodpercnél rövidebb vagy hosszabb-e a kitörés, valamint hogy mennyivel több energiát sugároznak ki kisebb hullámhosszon, mint nagyobb (ennek mérésére a „keménység”-nek nevezett statisztikai jellemző szolgál). A rövid időtartamú, kemény spektrumú kitörések a rövid-kemény kitörések (*short-hard bursts*), a hosszú időtartamú, lágy spektrumú kitörések a hosszú-lágy kitörések (*long-soft bursts*). [1] Az elmúlt években felmerült egy harmadik, közepes időtartamú csoport léte is (*intermediate bursts*), melynek eredte még nem tisztázott (ld. még 4.2. fejezet). [8] [9] [2] [16] [18] Az mindenesetre valószínű, hogy a hosszú gamma-kitörések 30 naptömegnél nagyobb csillagok (kollapszárnak is nevezik őket) összeroskadásakor, a rövid gamma-kitörések pedig kompakt objektumok (pl. neutroncsillag, fekete lyuk, fehér törpe) összeütközésekor jönnek létre. [1] Ezt onnan lehet tudni, hogy a kitörések egy részének azonosították a szülőgalaxisát: a hosszú kitörések általában csillagkeletkezésben aktív galaxisokhoz tartoznak, ahol sok a fiatal, nagy tömegű, rövid életű csillag. A rövid kitörések pedig elliptikus galaxisok öreg csillagpopulációihoz tartoznak, ahol a csillagkeletkezési ráta alacsony, így ilyen nagy energia kibocsátását megmagyarázandó csak ez a forgatókönyv jöhet szóba, eddigi tudásunk szerint. [20]

### 2.2.1. A tűzgolyó modell

Mindkét fajta gamma-kitörés keletkezésére a legelfogadottabb elmélet az úgynevezett tűzgolyó (*fireball*) modell. A kollapszus során egy akkréciós korong keletkezik az egyenlítő mentén az impulzusmomentum-megmaradás miatt, és két, forgástengely-irányú nyaláb (jet) indul a központban létrejövő fekete lyukból kifelé két irányba relativisztikus sebességgel.



3. ábra.

A gammasugárzás eredete a belső lökeshullám (*internal shock*): a kidobott relativisztikus nyaláb gyorsabb részei utoléri a lassúbbakat, és összeütköznek. Ekkor az itt lévő elektronok szinkrotron sugárzást (amely a homogén mágneses tér által gyorsított relativisztikus részecskékre jellemző sugárzás) bocsátanak ki, ami egyéb relativisztikus hatások miatt gamma tartományba tolódik el. Az ekkor észlelt gammasugár-kibocsátást *azonnali emisszió*nak (*prompt emission*) nevezik. [4]

Amikor a kilövellt nyaláb a külső közeggel, a csillagközi anyaggal vagy a saját maga által korábban lefújt anyaggal találkozik, akkor jön létre a külső lökeshullám (*external shock*). Ennek következménye az utófényt (*afterglow*), melyet röntgen-, UV- és optikai tartományban detektálunk. Az utófényt mérésével a kitörés távolságát és pontos pozícióját is meg lehet határozni (erre a gamma-spektrum csak nagyon nagy hibával alkalmas). [19]

### 2.2.2. Alternatív magyarázatok

Egyes kutatók szerint a szinkrotron sugárzás folyamata nem, vagy csak részben magyarázza a megfigyeléseket. Vannak ugyanis olyan jelenségek, amelyekre nem tud kielégítő magyarázatot adni, sőt amelyek egyenesen ellentmondanak neki. Ilyen pl. az a tény, hogy az  $\alpha$  alacsony energiás spektrálindeks (ld. 4.1. fejezet) a megfigyelések szerint gyakran meghaladja az ún. „szinkrotron halálvonalat” (*synchrotron deathline*), ami a szinkrotron modell alapján  $\alpha$  értékére határt szab:  $\alpha \leq -\frac{2}{3}$ . A megfigyelt  $\alpha$ -k az esetek 30%-ában  $\alpha \sim -1$  körül csoportosulnak. Egy másik megmagyarázatlan jelenség, hogy  $\alpha$  „követi” a fluxust, vagyis hogy magasabb fluxus esetén  $\alpha$  értéke is magasabb (ez az ún. *tracking behavior*). [14]

Ezek magyarázatára az elmúlt években fölvetették, hogy a szinkrotron sugárzás mellett egy másik sugárzásfajta is szerepet játszhat a folyamat során, az ún. *jitter* sugárzás. Ennek elmélete abból indul ki, hogy a gamma-kitörés során létrejövő mágneses tér nagyon kis skálán nem homogén, hanem véletlenszerűen összekuszálódott. Ebben az elektronok nem spirális, hanem sztochasztikus pályán haladnak, így nem szinkrotron sugárzás jön létre, hanem valamilyen „izgómozgó”, vagyis „jitter” sugárzás. (Ez egyébként speciális esetben ugyanolyan spektrumot tud produkálni, mint a szinkrotron sugárzás.) [13]

A jitter sugárzás elméletével a fenti ellentmondások megmagyarázhatók. Mindazonáltal a gamma-kitörések legteljesebb leírásához a két sugárzásfajta együttes jelenléte szükséges. [13] [7]

Egy másik, néhány kitörést kielégítően magyarázó elmélet az ún. *ágyúgolyó* (*cannonball*) modell. [6] A modell lényegi újdonsága az eddigiekhez képest, hogy feltételezi, hogy a szinkrotron sugárzás mellett az inverz Compton-szórás is szerepet játszik a gamma-kitörés folyamatában. [19]

### 2.2.3. Nyitott kérdések

Amellett, hogy az eredetükre többé-kevésbé jó modell van, nagyon sok még a nyitott kérdés a gamma-kitörések kutatásában. Többek között a következőkre keresnek még választ a kutatók:

Csak két fő típus van? Létezik-e valójában, és ha igen, milyen tulajdonságai vannak a harmadik csoportnak? Vajon van-e különbség a neutroncsillag–neutroncsillag és a fekete lyuk–neutroncsillag párok (és a többi hasonló pár) ütközésében? Hogyan lökődik ki a relativisztikus nyaláb? Kibocsájt-e az objektum más nagyenergiás részecskéket is (leptonok, hadronok, neutrínók), vagy forrása-e a kozmikus sugárzásnak? Van-e közük a szupernóva-robbanásokhoz, és ha igen, micsoda? (A Swift műhold mérése 4 kitörés esetén megerősítette, hogy valójában hatalmas erejű szupernóva-robbanás volt, de a többről nem tudjuk ezt elmondani. [20] ) Mekkora a jet sugara és mitől függ a mérete? Mi az utófényben észlelt jellegzetes letörések magyarázata? Milyen az objektumot körülvevő anyag szerkezete, és ez hogy befolyásolja a kitörés menetét? [20]

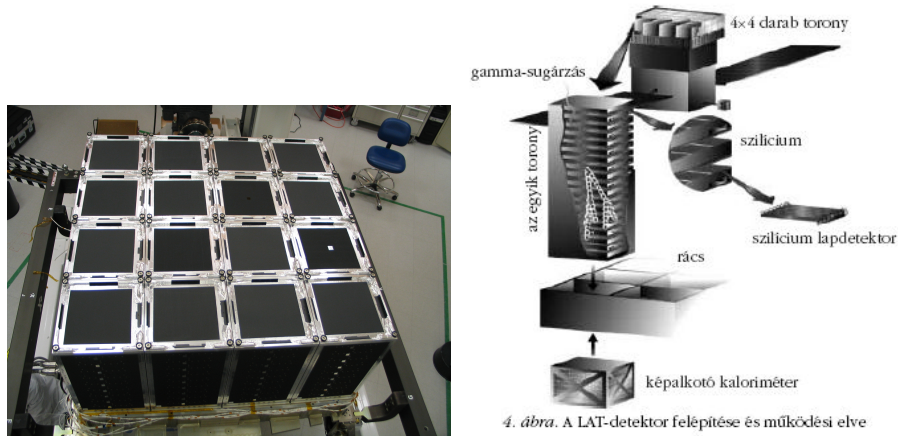
Ebből is látszik, hogy a téma kutatása fontos, érdekes és szerteágazó. A gamma-kitörések megértésével és megméréseivel talán közelebb jutunk az Univerzum történetének feltérképezéséhez is, mivel ezek az eddig ismert legfényesebb és legtávolabbi objektumok. [28] Sugárzásuk elnyelődését vizsgálva különböző kozmológiai korok történelmét is megismerhetjük. [20]

### 3. A FERMI-küldetés

A *Fermi* Űrtávcsövet 2008. július 11-én indították 565 km magas, 25,6°-os inklinációjú föld-körüli pályára. Két tudományos műszert vitt magával: a LAT-ot és a GBM-et.

#### 3.1. Műszerek

A **Large Area Telescope (LAT)** 20 MeV – 300 GeV közötti gamma-sugarakat detektál eddig soha nem látott érzékenységgel. Az égbolt igen nagy területét, kb. egyötödét tudja egyszerre lefedni, a műhold pályája pedig olyan, hogy 3 óránként az egész égboltot képes belátni. [21]



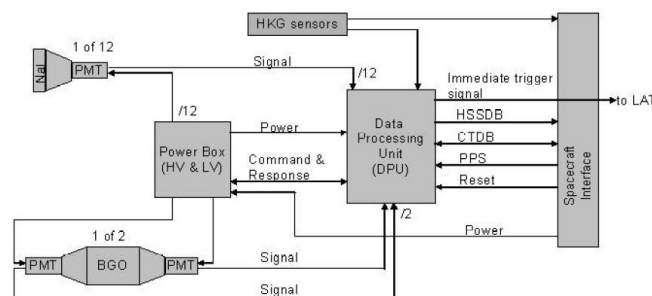
4. ábra. A LAT 16 tornya és működésének vázlata

A **Gamma-Ray Burst Monitor (GBM)** érzékenysége a 8 keV – 40 MeV-os energiatarományt fedi le, vagyis a viszonylag alacsony energiákon is végez méréseket. Ha észlel egy kitörést, a fedélzeti számítógépe (DPU) által meghatározott koordinátákat elküldi a LAT-nak, amely az objektumot sokkal hosszabb ideig (még 5 óráig) detektálja. [15]

Ebben a dolgozatban a GBM által detektált adatokat fogjuk elemezni (lásd 5. fejezet), amihez tudni kell még néhány dolgot magáról a műszerről.

A GBM hardverfelszerelése a következő lényeges elemeket tartalmazza (ld. 5. ábra):

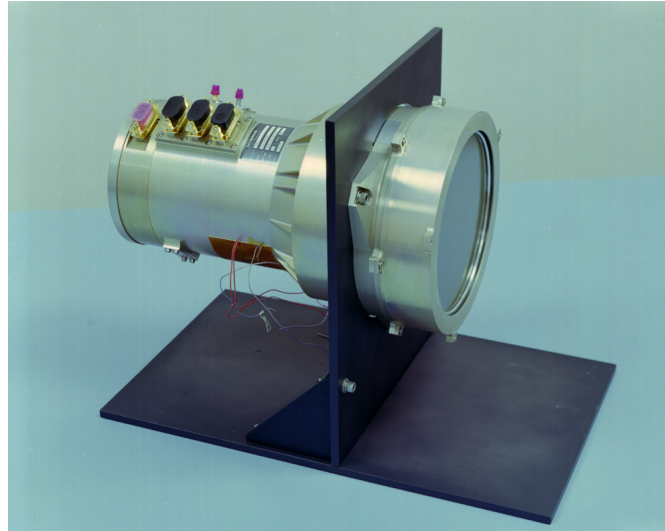
- 12 talliummal aktivált nátrium-jodid ( $NaI(Tl)$ ) szcintillációs detektor
- 2 bizmut-germanát (BGO) szcintillációs detektor
- Data Processing Unit (DPU)
- Power Box



5. ábra. A GBM blokkdiagramja

### 3.2. A GBM detektorai

A **NaI(Tl)-detektorok** alacsony energiaspektrumon képesek mérni ( $8 \text{ keV} - 1 \text{ MeV}$ ). A kristály maga  $12,7 \text{ cm}$  átmérőjű és  $1,27 \text{ cm}$  vastag, ezt egy légmentesen lezárt alumíniumházba helyezték a hozzá tartozó fotoelektron-sokszorozóval (PMT) együtt, mivel a NaI nedvszívó tulajdonságú. Elé egy  $0,6 \text{ cm}$  vastag speciális üveglak került. A kristály felületét  $0,7 \text{ mm}$  vastag szilikonréteggel borították be, ez biztosítja a  $8 \text{ keV}$  energiájú alsó mérési küszöböt. [15]



6. ábra. Egy NaI-detektor fényképe

A 12 db NaI-detektor elhelyezkedése egymáshoz és a műhold tengelyéhez képest elég összetett. A 2. táblázat megadja a detektorok irányát a műhold ún. +Z tengelyéhez képest, mely tulajdonképpen a LAT maximális effektív felületének irányát jelenti. Az azimutszöget az óramutató járásával megegyező irányban mérik a műhold +X tengelyétől kezdve (ez a napos oldala felé mutat).

Detector ID #	Azimuth (deg)	Zenith (deg.)
0	45.9	20.6
1	45.1	45.3
2	58.4	90.2
3	314.9	45.2
4	303.2	90.3
5	3.4	89.8
6	224.9	20.4
7	224.6	46.2
8	236.6	90.0
9	135.2	45.6
10	123.7	90.4
11	183.7	90.3

2. táblázat. A detektorok iránya a műhold +Z tengelyéhez képest.

A 3. táblázatban a 12 detektor egymáshoz képesti szögei találhatóak.



DETEKTOR	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10 (a)	11 (b)
0	0,00	24,70	70,11	49,06	94,72	74,77	41,00	66,80	110,23	48,85	86,11	105,40
1	24,70	0,00	46,43	60,40	98,64	57,78	65,70	91,50	134,15	60,58	82,21	122,47
2	70,11	46,43	0,00	99,68	115,20	55,00	110,01	134,70	178,19	80,75	65,30	125,30
3	49,06	60,40	99,68	0,00	46,28	61,79	48,67	60,99	81,73	90,80	134,50	118,10
4	94,72	98,64	115,20	46,28	0,00	60,20	86,23	82,01	66,60	134,63	179,14	119,50
5	74,77	57,78	55,00	61,79	60,20	0,00	104,94	122,73	126,80	118,28	120,30	179,68
6	41,00	65,70	110,01	48,67	86,23	104,94	0,00	25,80	70,04	48,92	94,26	75,09
7	66,80	91,50	134,70	60,99	82,01	122,73	25,80	0,00	45,09	60,68	98,12	57,19
8	110,23	134,15	178,19	81,73	66,60	126,80	70,04	45,09	0,00	98,12	112,90	52,90
9	48,85	60,58	80,75	90,80	134,63	118,28	48,92	60,68	98,12	0,00	45,95	61,98
10 (a)	86,11	82,21	65,30	134,50	179,14	120,30	94,26	98,12	112,90	45,95	0,00	60,00
11 (b)	105,40	122,47	125,30	118,10	119,50	179,68	75,09	57,19	52,90	61,98	60,00	0,00

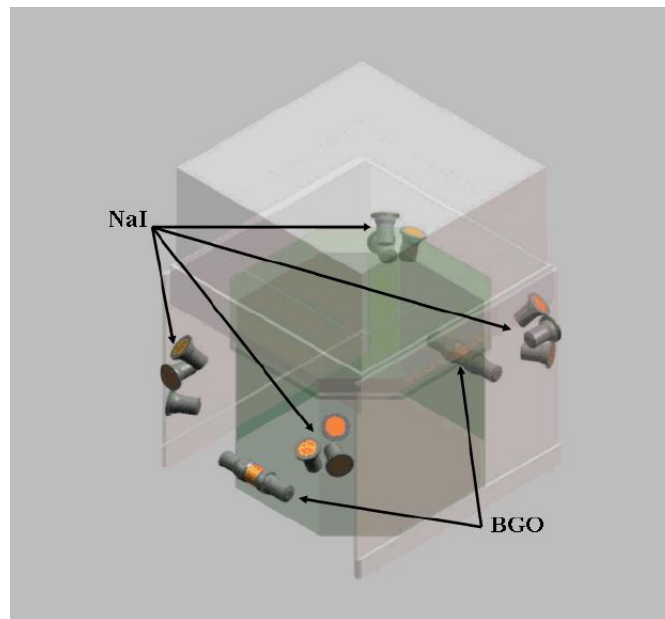
3. táblázat. A 12 NaI detektor egymáshoz képesti szögei fokban. Az táblázatot a 2. táblázat alapján a gömbháromszögi koszinusztétel felhasználásával készítettem.

A **BGO-detektorok** energiatarományja 200 keV – 40 MeV között van, tehát átfed a NaI-detektorokkal és a LAT-tal is. A kristály 12,7 cm vastag. A ház anyaga szénszállakkal (carbon fibre reinforced plastic, CFRP) megerősített műanyag, kétoldalt titániumgyűrűkkel körbevéve. A kristályhoz két fotoelektron-sokszorozó is csatlakozik, így javítva a fénygyűjtő képességet. [15]



7. ábra. Egy BGO detektor fényképe. A fedélzeten két ilyen helyeztek el, két átellenes oldalon, lásd a 8. ábrát.

A két BGO-detektort ellentétesen helyezték el egymással, így valamennyi kitörés detektálható egyikükkel. A 8. ábra mutatja a GBM detektorainak elhelyezését és irányítását.



8. ábra. A GBM detektorainak helyzete.

### 3.3. A GBM-adatok típusai

A detektorok jeleit egy 9,6 MHz-en működő analóg-digitál konverter 4096 energiacsatornába (12 bit) osztja. Két esemény közti holtidő minimálisan  $2,6 \mu\text{s}$ , de ennek pontos értéke függ a jel magasságától is. Az adatok 8 ill. 128 energiacsatornába kovertálódnak le a *Pulse Height Analysis (PHA)* nevű eljárás során. Az eljárás nemcsak a pulzusok magasságát veszi figyelembe, hanem alakjukat is: a pulzusok alakját illeszti, így mintavételez. [15]

A 8 energiacsatornát tartalmazó fájlok az ún. CTIME fájlok. Mint a nevük is mutatja, ezekben inkább az időadat a lényeges, nem a spektrális: a binok szélessége általában 256 ms, de lehet ennél kisebb is. Például amikor trigger történik, az adatgyűjtés sebessége megnő, és a binok szélessége 64 ms-ra vált.

A 128 energiacsatornát tartalmazó fájlok az ún. CSPEC fájlok. Itt a spektrális adatok a lényegesek, éppen ezért az időbeli fölbontás rosszabb: 4096 ms a binok szélessége általában.

A fent említett két fájl típus egyfolytában készül, függetlenül attól, hogy kitörés zajlik-e vagy sem. Ezek dinamikus és folyamatos elemzésével határozza meg a fedélzeti processzor azt a küszöböt, ami fölött nagy valószínűséggel már gamma-kitörés sugárzását észlelik a detektorok. Ekkor jelet ad a kioldásra (trigger) és az adatok sokkal precízebb gyűjtésére a detektoroknak.

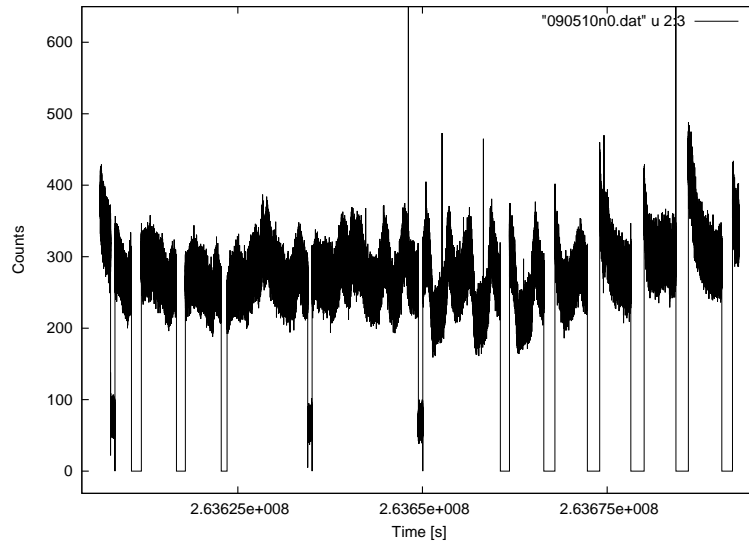
A triggerjel után gyűjtött adatokat TTE-nek (time-tagged event) nevezik. Ez az adatfajta is 128 energiacsatornát tartalmaz. Az adatgyűjtés módszere eltér az eddig ismertetettől. Itt minden egyes foton beérkezési idejét és energiáját is rögzítik, ami sokkal pontosabb mintavételt eredményez. A detektorok a TTE adatokat egy külön tárolóba gyűjtik, melyet 30 s-onként újraírnak, ha nincs triggerjel. Ha van, akkor az adatokat (a trigger megelőző 30 s-mal együtt) közvetlenül átküldik a központi processzornak. A TTE adatok gyűjtése összesen 300 s-ig tart. [15]

A Fermi műhold először 2008. július 14-én adott triggerjelet. Azóta 2009. augusztus 15-ig (ekkor zártuk le a mintát, amivel dolgozunk) 476 db trigger történt, ebből 286 db volt valóban gamma-kitörés. A többi trigger a következők egyike lehetett:

- lágy-gamma ismétlő forrás (Soft-Gamma Repeater – SGR),
- Nap-fler,
- földi felsőlégköri gammavillanás (Terrestrial Gamma Flash),
- részecske áramlat,

- a háttér statisztikus fluktuációi,
- a Cygnus X-1 fluktuációi,
- egyéb, bizonytalanul osztályozható események.

A műhold összes adatát közzéteszik a <http://fermi.gsfc.nasa.gov/ssc/data> oldalon. Az adatok helyes áttekintéséhez fontos tudni még pár dolgot. Alapvetően három nagy kategóriába osztják őket: *napi adatok* (daily data), *kitörési adatok* (burst data) és *frissített adatok* (updates). A napi adatok napokra lebontva tartalmazzák a teljes háttérrel (CTIME és CSPEC fájlok), valamint információt a detektorok kalibrációjáról és a műhold helyzetéről. A kitörési adatok természetesen tartalmazzák a TTE fájlokat (detektoronként), valamint a CTIME és CSPEC fájloknak azon részletét, mely a trigger előtt és után 1000 s-mal keletkezett. Ezen kívül megtalálhatók itt egyéb katalógusadatok a kitöréshez (pozíció, intenzitás, keménység, előzetes osztályozás stb.). A frissített adatok általában a földi kutatócsoportok által javított, módosított, pontosított adatokat tartalmazzák. [15]

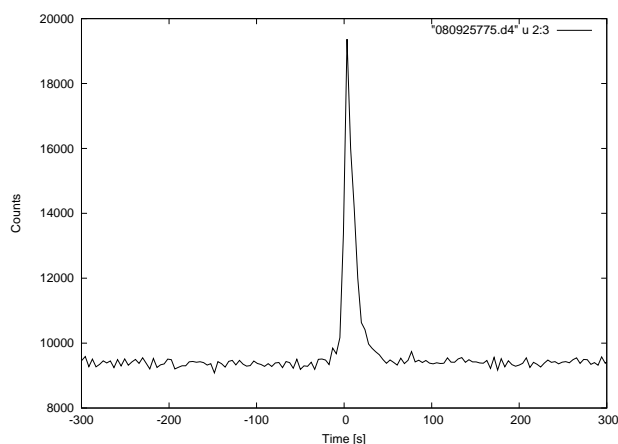


9. ábra. Egy példa a napi háttérre: 2009. május 10. (CTIME adatsor, n0 detektor). A vízszintes tengelyen az idő van feltüntetve, ami a Fermi saját belső, a küldetés kezdetétől számolt ideje (*Fermi Mission Elapsed Time – MET*), a függőleges tengelyen pedig a beütésszám. A háttér periódikus ingadozását a műholdnak a Dél-Atlanti Anomáliához képesti mozgása okozza. Az Anomálián való áthaladáskor a műszereket kikapcsolják, ekkor nincs jel. Maga a háttér elsősorban a kozmikus sugárzás fotonjaitól származik, de szerepet játszik benne a Föld és a Nap gammasugárzása és az űrhajó anyaga által kibocsátott gammasugárzás is. Az adatsorban megfigyelhető három helyen, hogy a detektált fotonok szintje hirtelen lecsökken, és egy ideig ezen az alacsonyabb szinten történik a mintavétel. Ezeken a helyeken a műhold triggerjelet adott, így itt a mintavétel nagyobb gyakorisággal történt. A három trigger időpontja rendre: 00:20:45.02 UTC (bn090510016); 07:45:23.96 UTC (bn090510325); 11:55:02.96 UTC (bn090510498). Közülük az első kettő gamma-kitörés volt.

## 4. Gamma-kitörések statisztikus vizsgálata

A gamma-kitöréseket több okból érdemes statisztikusan is vizsgálni. Egyrészt mivel igen sok, térben és időben elkülönülő kitörésről van adatunk, másrészt mivel a mérés jellegéből és a nagy távolságból adódóan az adatok elég nagy hibával terheltek. (Ez nem jelenti azt, hogy a jel a nagy távolság miatt szükségszerűen kicsi. Például 2008. március 19-én a Földről szabad szemmel is látható gamma-kitörés történt: 5,76 magnitúdó fényességű volt az optikai utófénye a maximumban, a vöröseltolódására pedig  $z = 0,937$  értéket mértek. [25] [23])

Mielőtt a statisztikus változókat definiálnám, meg kell említeni a fénygörbe fogalmát. A fénygörbe általában a kitörés időbeli lefolyását mutatja, lásd 10. ábra. A fénygörbét akármilyen energiacsatornára el lehet készíteni, de akár a beérkező fotonok összegére is, ha erre van szükség. Az interneten közzétett fits fájlok (CTIME és CSPEC, lásd 3.3. fejezet) az időbeli jellemzők mellett a spektrális jellemzőket is tartalmazzák, de ezekre most nem lesz szükségünk. (Megjegyzem, hogy a továbbiakban mindig az azonnali emisszió (*prompt emission*) gamma tartományban lévő fénygörbéjéről lesz szó.)



10. ábra. A 080925775 jelű kitörés fénygörbéje (összegezve az összes csatornára és a triggerelt detektorokra). A vízszintes tengelyen az eltelt időt másodpercben (0 s-nál következett be maga a kitörés), a függőleges tengelyen pedig a beérkezett fotonok darabszámát tüntettük föl.

### 4.1. A statisztikus paraméterek

A vizsgálatok legtöbbször arra alapul, bizonyos jól definiált fizikai mennyiség között kapcsolatokat keresnek. Ilyen fizikai érték pl. az ún.  $T_{90}$  vagy  $T_{50}$  érték, mely azt jelenti, hogy mennyi idő alatt érkezett be a kitörés teljes energiájának a 90, illetve az 50%-a. Ebben a dolgozatban elsősorban ezt a változót vizsgálom, de a teljesség kedvéért itt megemlítek még más ilyen fizikai értékfajtákat is. [19]

#### Spektrális index (*Spectral Index*):

A kitörés spektrumát általában egy vagy két, simán illeszkedő hatványfüggvénnyel illesztik, ennek kitevője az  $\alpha$  spektrális index:

$$f(E) = A \cdot \left( \frac{E}{E_0} \right)^\alpha \quad (1)$$

#### Csúcsenergia ( $E_{peak}$ ):

Az az energiaérték, ahol a  $\nu F_\nu$  spektrum a maximumát fölveszi.

#### Fluencia (*Fluence*):

A kitörés teljes idejére integrált fluxus,  $F_{tot}$ , mértékegysége:  $1 \frac{\text{erg}}{\text{cm}^2}$ .

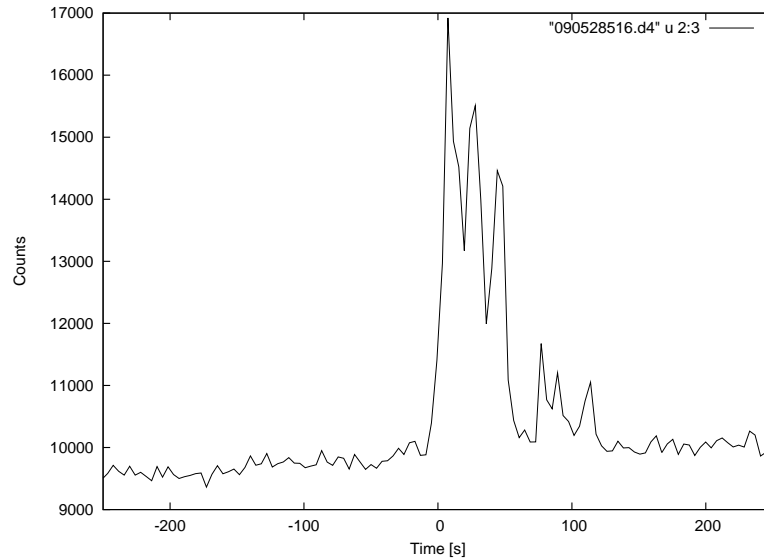
#### Csúcsfényesség (*Peak Flux*):

A kitörés maximuma körüli egy másodpercben beérkezett energia, mértékegysége:  $1 \frac{\text{erg}}{\text{cm}^2 \cdot \text{s}}$ .

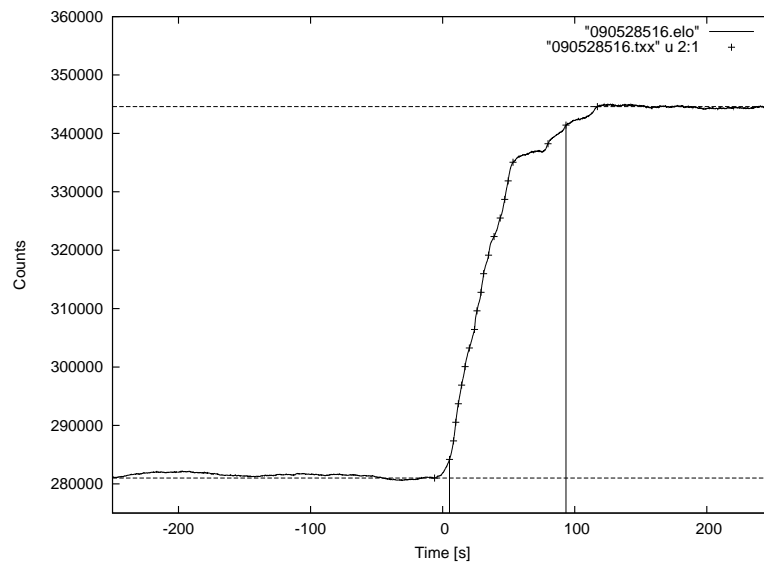
**$T_{90}$ :**

Az egyik leggyakrabban használt statisztikai paraméter, a kitörés időbeli lefolyását jellemzi. Megmutatja, hogy mennyi idő alatt érkezett be az összenergia 90%-a. (Az összes energia beérkezésének időtartamát nemigen lehet pontosan meghatározni, mivel a kitörés eleje és vége belesimul a háttérbe.) [17]

A  $T_{90}$  úgy határozható meg a gyakorlatban, hogy a fénygörbét fölintegráljuk (a valószínűség-számításból ismert sűrűség- és eloszlásfüggvény közötti kapcsolat analógiájára), az integrált fénygörbe minimum és maximum szintjeit kijelöljük, és vesszük a két szint különbségének (ami tulajdonképpen analóg a fluenciával) középső 90%-át: az ehhez tartozó időtartam lesz a keresett  $T_{90}$ . A 11. és a 12. ábra mutatja ennek a menetét.



11. ábra. A 090528516 jelű kitörés fénygörbéje (eredeti differenciális alakban).



12. ábra. A 090528516 jelű kitörés fénygörbéje fölintegrált alakban. A két függőleges vonal közötti időintervallum a keresett  $T_{90}$  értéke, mely jelen esetben:  $T_{90} = 88.212$  s. A vízszintes szaggatott vonalak jelzik a kijelölt minimum és maximum szinteket.

Fontos megjegyezni, hogy a fölintegrálás előtt a háttérzajt valahogy le kell vonni. Ennek módját a 5.1.3. fejezetben ismertetjük.

Megjegyzendő még, hogy a statisztikák készítésekor nem a  $T_{90}$ -et, hanem ennek tízes alapú logaritmusát szokták használni, mivel a  $T_{90}$  változó értéke több nagyságrendet átfog (ld. még 4.2. fejezet).

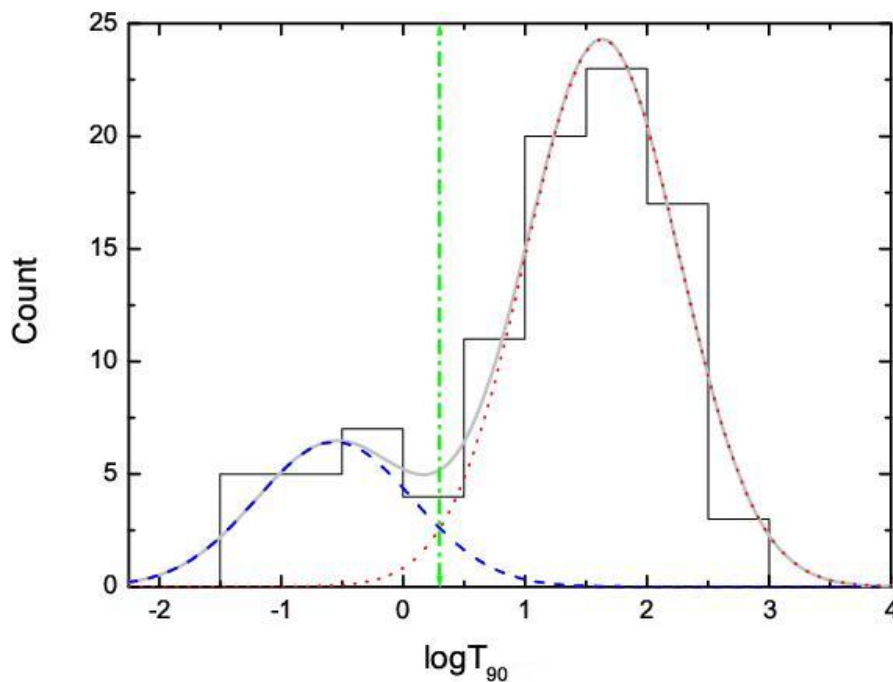
A  $T_{90}$  mellett hasonló módon definiálható a  $T_{50}$ , és más tetszőleges  $T_{xx}$  paraméter is, de az előbb említett kettőt használják leginkább elterjedten a gyakorlatban.

## 4.2. A paraméterek közötti összefüggések

A fent említett paraméterek között különféle matematikai kapcsolatokat fedeztek föl az évek során, melyek alapján megalkották a GRB-k elméleti modelljét.

### 4.2.1. $T_{90}$ -hisztogram

Mint a 4.1. fejezetben említettem, a kitörések időtartamának vizsgálatához általában a  $T_{90}$  értékét, illetve a logaritmusát használják ( $\lg T_{90}$ ). A '90-es évek első felében megvizsgálták ennek eloszlását [12]. Azt találták, hogy az eloszlás egyértelműen két púpú, lásd 13. ábra. A két púp következménye, hogy a gamma-kitöréseket a két ismert csoportba sorolták (hosszú és rövid kitörések). A két púpot jól illeszti egy-egy Gauss-görbe. Az illesztés alapján a határt  $\lg T_{90\text{határ}} \approx 0,3$ , vagyis  $T_{90\text{határ}} \approx 2$  s-nál lehet meghúzni, ezért a  $T_{90} > 2$  s a hosszú, a  $T_{90} < 2$  s a rövid kitörések.



13. ábra. A kitörések időtartamának eloszlása

Fontos megemlíteni, hogy az eloszlás alaposabb vizsgálatával kimutatták egy harmadik púp jelenlétét is a két előző között, az ilyen kitöréseket közepes (*intermediate*) kitörésekként szokás emlegetni. Azonban nem tisztázott még, hogy milyen fizikai folyamatok hozzák létre őket. [8] [9] [2] [16] [18] [10]

## 5. A fénygörbék háttérillesztése és a $T_{90}$

### 5.1. A munka menete

Munkám célja a  $T_{90}$  (és egyéb  $T_{xx}$ ) értékek meghatározása a Fermi műhold által mért gamma-kitörésekre. Mivel a Fermi katalógusa még nem jelent meg, ezért erről jelenleg nincsenek publikált adatok.

A Fermi által mért adatokból fénygörbét kell készíteni, a háttérre elméleti görbét kell illeszteni és ezt a fénygörbéből levonni, hogy a zaj lecsökkenjen, majd föl kell integrálni a fénygörbét, és az így kapott eloszlásfüggvényből a  $T_{90}$ -et meghatározni.

Itt jegyzem meg, hogy a TDK munka lényegi része a fénygörbe földolgozásának folyamata lesz. A  $T_{xx}$  fent leírt (4.1. fejezet) definíciójából indulunk ki, és a nyers adatokat, adatsorokat dolgozzuk föl. A munka sarkallatos pontja a háttérintervallumok kijelölése. A háttérintervallumokat az eddigi legnagyobb és legtöbbet használt adathalmazra, a CGRO (BATSE) műhold adataira 2001-ben közzétették [26] [27], de az újabb műholdak, így a Fermi esetén ez eddig nem történt meg (és kérdéses, hogy meg fog-e egyáltalán történni). A kidolgozott és az alábbiakban leírt eljárás alkalmas további minták feldolgozására, mert semmi más nem szükséges hozzá, mint a Fermi eredeti adatai és az általam megírt programok. Így lehetővé válik majd, hogy néhány év múlva, ha a Fermi már kellően sok kitörést detektált, a módszert az összesre alkalmazzuk. Ezzel egy későbbi kutatás alapjait vetettük itt meg.

A Fermi műhold működésének első évében (2008. július 11. és 2009. augusztus 15. között) 476-szor adott triggerjelet, de ebből csak 286-ról állapították meg, hogy valóban gamma-kitörés. Ezek közül választottuk ki a mintánkat, mely 126 kitörést tartalmaz. A kiválasztás részleteit később ismertetem (5.1.3 és 5.1.4. fejezet).

A módszert a 080916009-es kitörés példáján keresztül fogom ismertetni, de az összes többi esetén is ugyanez az eljárás.

#### 5.1.1. Az adatok

Az első lépés az adatok letöltése és tárolása volt. Az adatok, amikkel dolgozom, a `legacy.gsfc.nasa.gov` nyilvános webhelyről érhetők el. Itt a GBM detektor adatait kitörésenként egy-egy külön könyvtárba csoportosítják.

Egy könyvtár eredeti tartalma:

- 14 db fit kiterjesztésű TTE (*time tagged event*) fájl (pl. `glg_tte_b0_bn080916009_v00.fit` a BGO nullás detektoré; a többi detektoré is a nevében van jelezve)
- 14 db pha kiterjesztésű CTIME fájl (pl. `glg_ctime_b0_bn080916009_v00.pha`)
- 14 db pha kiterjesztésű CSPEC fájl (pl. `glg_spec_b0_bn080916009_v00.pha`)
- 2 db fit kiterjesztésű katalógusfájl (`glg_trigdat_all_bn080916009_v01.fit`, `glg_tcat_all_bn080916009_v07.fit`)

A Fermi által mért kitörések azonosítására egy 9 jegyű számsorozat szolgál, pl. 080916009, ahol az első 6 számjegy a trigger napját jelöli (év, hónap, nap), az utolsó 3 számjegy pedig az időpontot azonosítja az adott napon (a napot 1000 részre osztva). Például a 080916009 jelű kitörés 2008. szeptember 16-án 00:12:45 UT-kor történt.

#### 5.1.2. Az adatok feldolgozása

A fent felsorolt összes fájl FITS<sup>1</sup> formátumú, ez az adattárolási forma azért hasznos, mert az adatokon kívül nagyon sok egyéb információt is tartalmaz az adott kitörésről (pozíció, detektor stb.). Az ilyen típusú fájlokkal való munkához több lehetőség is rendelkezésre áll. Sokan az IDL nevű programot használják, én inkább egy másik módszert választottam: C nyelven is lehet programozni ezeket a fájlokat a CFITSIO nevű programkönyvtár telepítésével. A

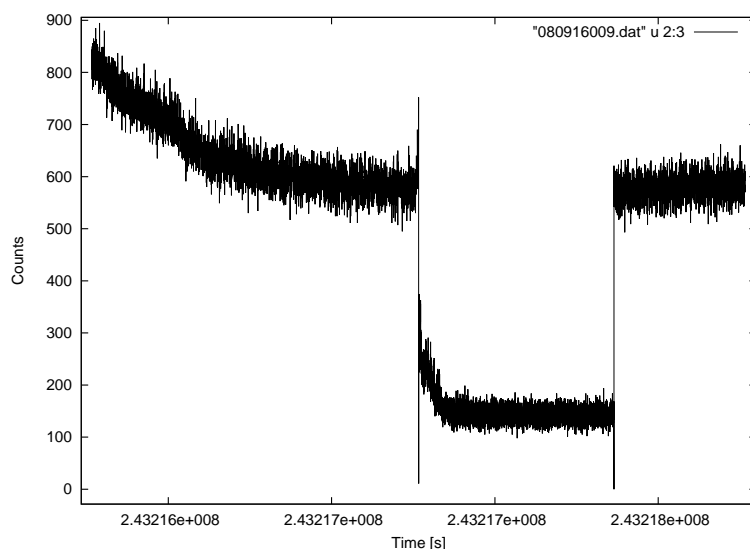
<sup>1</sup>A FITS – Flexible Image Transporting System – egy olyan fájlformátum, melyet elterjedten használnak a csillagászatban. Alkalmas képek és többdimenziós táblázatok tárolására. Minden FITS fájl legalább egy fejlécből (*header*) és egy adategységből (*data unit* áll). Általában a fejléc azt írja le, hogy az adategységet hogy kell értelmezni.

<http://heasarc.gsfc.nasa.gov/docs/software/fitsio/cexamples.html> oldalról elérhető az a néhány (nyílt forráskódú) program, melyekkel tetszőlegesen lehet kezelni a fits fájlokat.

Mivel a kitörés időbeli lefolyását szeretném meghatározni (fénygörbe), kézenfekvő lenne a TTE fájlokat használni. Azonban a TTE fájlok csak 30 s-ot tartalmaznak a kitörés előtt, ami kevés ahhoz, hogy a háttérrel meghatározhassuk. A háttér pontos meghatározásához és levonásához leglább 100 – 200 s szükséges. Ezért a CTIME fájlokat fogom fölhasználni, mivel ez a fájl típus 1000 s-ot tartalmaz a kitörés előtt és után is, ez tehát bőven elég. (Természetesen csak a kitörés körüli 100 – 200 s-nak lesz jelentősége, a többivel nem fogunk foglalkozni, mivel azok időben túl messze vannak ahhoz, hogy az ottani háttér a kitörésre ráakódhasson.) Azért is a CTIME fájlt használom, mert annak jobb az időbeli felbontása, mint a CSPEC-nek (aminek a spektrális felbontása a jobb).

Jelen esetben nem foglalkozom a kitörések energetikájával vagy spektrális felbontásával, csak az időbeli lefolyásával. Ezért a CTIME fájlok földolgozásakor a 8 energiacsatornát egyszerűen összeadom.

Egy kitörést általában több detektor is érzékelt, de legalább kettő. Ezeknek az ún. triggerelt detektoroknak a nevét a katalógusfájlokból (pl. `trigdat`) lehet megtudni. Minden fénygörbét úgy készítettem el, hogy a triggerelt detektorok beütésszámait is összeadtam. Ha a beütések számát (Counts) az idő (Time) függvényében ábrázoljuk, akkor a 14. ábrát kapjuk.



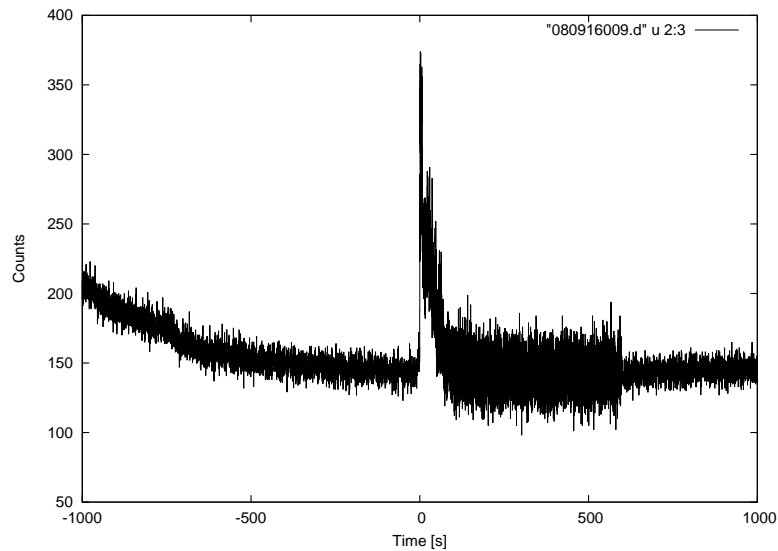
14. ábra. A 080916009-es kitörés adatsora. A felbontás 256 ms-ról 64 ms-ra vált ott, ahol a kitörés bekövetkezik. Az adatsor az energiacsatornák és a triggerelt detektorok összegzésével készült. A vízszintes tengelyen az idő van feltüntetve, ami a Fermi saját belső, a küldetés kezdetétől számolt ideje (*Fermi Mission Elapsed Time – MET*).

A 14. ábra egyelőre nem hasonlít egy gamma-kitörés fénygörbéjére (amilyet pl. a 10. ábrán láthattunk). A letörés oka az, hogy a detektorok a kitörés időpontja (trigger time) után jobb felbontással mérnek (64 ms-os binek, míg a két szélén csak 256 ms-osak a binek, lásd 3.3. fejezet), ezzel a beütések száma arányosan lecsökken. Ennek kiküszöbölésére meg lehet tenni azt, hogy a binméretet egyszerűsítjük.

Az egyszerűsítés természetesen két dolgot jelenthet: vagy összeadjuk a 64 ms-os bineket négyesével, így az összes bin 256 ms-os lesz, vagy elosztjuk a 256-osokat 4-gyel, így minden 64 ms-os lesz. Hogy a lehető legjobb felbontást kapjam, én ezt az utóbbi lehetőséget választottam, amikor a fénygörbéket elkészítettem. Ez persze azzal jár, hogy ott, ahol 4-gyel osztottam, 4 egymás utáni bin ugyanazt az értéket fogja tartalmazni, ami a zaj eloszlását befolyásolja: itt most ennek hatásait figyelmen kívül hagyjuk. (A görbe itt lépcsőssé válik, és a szórás is kisebb lesz, lásd 15. ábra.) A későbbiekben ezt a 64 ms felbontású adatsort fogom még használni, amikor az integrális görbét elkészítem (a 5.1.4. fejezetben). Megjegyzem, hogy célszerű az időtengely adataiból le-

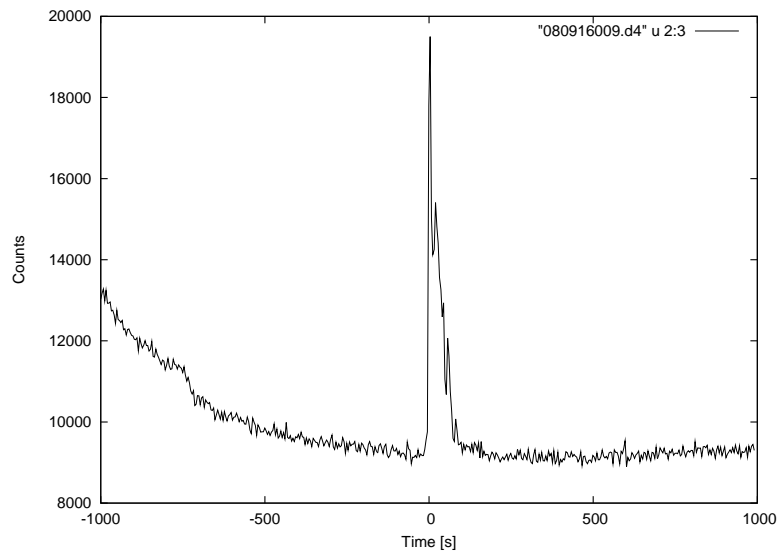


vonni az ún. „triggertime”-ot, vagyis azt a pillanatot, amikor a műhold a triggerre jelt adott – ezzel a 0 s időpillanat középre, a csúcs elé kerül.



15. ábra. A 080916009-es kitörés adatsora egységesen 64 ms-os felbontással. Az időtengelyen a 0 s a kitörés kezdetéhez került, mivel levontuk a „triggertime”-ot.

A 15. ábrán már jól látszik maga a kitörés is, de hogy a zajt lecsökkentsük, és hogy még szebben kirajzolódjon a görbe, célszerű a binméretet 4096 ms-ra állítani. Így a 16. ábrát láthatjuk (ezzel az adatsorral végzem el a háttér illesztését, lásd a következő, 5.1.3. fejezetet).



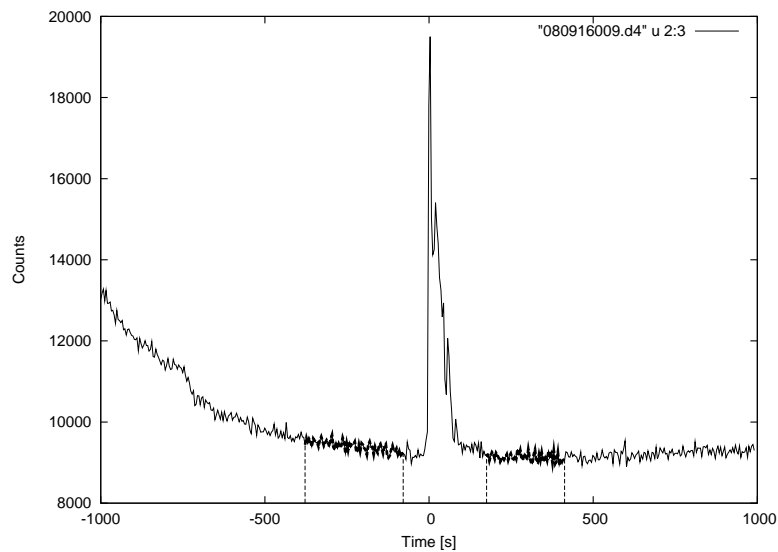
16. ábra. A 080916009-es kitörés fénygörbéje 4096 ms-os binmérettel.

### 5.1.3. A háttér kezelése

A háttér egy valamilyen időbeli függvényre rakódó sztochasztikus fluktuáció. A 16. ábrán meg lehet figyelni, hogy hol kezdődik és hol ér véget a kitörés, illetve hogy hol olvad bele az eleje és a vége a háttérbe. A háttér statisztikus bizonytalanságának kezelésére egy egyszerű, de hatékony módszer, ha valamilyen elvi görbét illesztünk rá, és azt levonjuk a fénygörbéből. Nincs

semmilyen elmélet rá, hogy milyen alakú legyen a levonandó görbe, de általában hatványfüggvény alakúnak szokták választani. Sok esetben egy sima lineáris is megfelelne, de mi most parabolát fogunk illeszteni az összes kitörésre, mert a parabola a több szabad paramétere miatt nem csak egyenes menetű hátterek esetén alkalmazható. (Megjegyzem, hogy vannak olyan bonyolult háttérű kitörések, melyeket a parabola sem modellez egészen pontosan, ezeknél magasabb rendű görbék illesztése lenne indokolt, de ez már meghaladja ezen dolgozat kereteit.)

Ahhoz, hogy a háttérrel illeszteni tudjuk, először meg kell határozni azt a tartományt, amely a háttérintervallumokat tartalmazza – ebbe nem szabad belevenni a kitörést magát (a trigger time körüli szakaszt), mivel akkor az egész háttérleválasztás értelmét veszti, és nem érdemes foglalkozni a nagyon távoli ( $> 300$  s) időkkel sem, mivel az ottani háttér már egészen más lehet, mint az, ami a kitörésre ráakodik. Általában két intervallumot jelölünk ki, egyet a kitörés előtt, és egyet utána. A fenti kitörésre az általam javasolt háttérintervallumok a 17. ábrán a függőleges vonalak között, vastaggal kijelölve láthatók.



17. ábra. A 080916009-es kitörés fénygörbéje, függőleges vonalak között vastaggal feltüntetve a háttérintervallumok.

A 17. ábrán az is megfigyelhető, hogy  $-1000$  és  $-700$  s tájékán a háttér teljesen másképp viselkedik, más tendenciát követ, mint a kitörés körüli  $200 - 300$  s-ban. Egyéb kitörések esetén ez az effektus még erőteljesebben megjelenik, lásd a 18. ábrát lent. Ennek oka elsősorban a Fermi műhold mozgásában keresendő. Pályáján haladva időről időre más és más szöveget zár be a detektorok irányítása a Nappal, a Földdel és esetleg egyéb gammaforrásokkal, melyek a háttér szintjét alakítják. Éppen ezért fontos, hogy a háttérrel megfelelően jelöljük ki: egy olyan tartományt, melyen csak kevés, könnyen modellezhető változás történik, és amely annyira közel van magához a kitöréshez, hogy a műhold közben nem haladt nagyon sokat előre. (Ha meggondoljuk, hogy a műhold  $90$  perc =  $5400$  s alatt tesz meg egy teljes kört a Föld körül, és számításba vesszük a keringés magasságát ( $565$  km), akkor adódik, hogy  $16156$  km-t tesz meg, míg a 17. ábrán látható,  $2000$  s hosszú adatsort detektálja. Eközben az égen  $133^\circ$ -ot halad előre.)

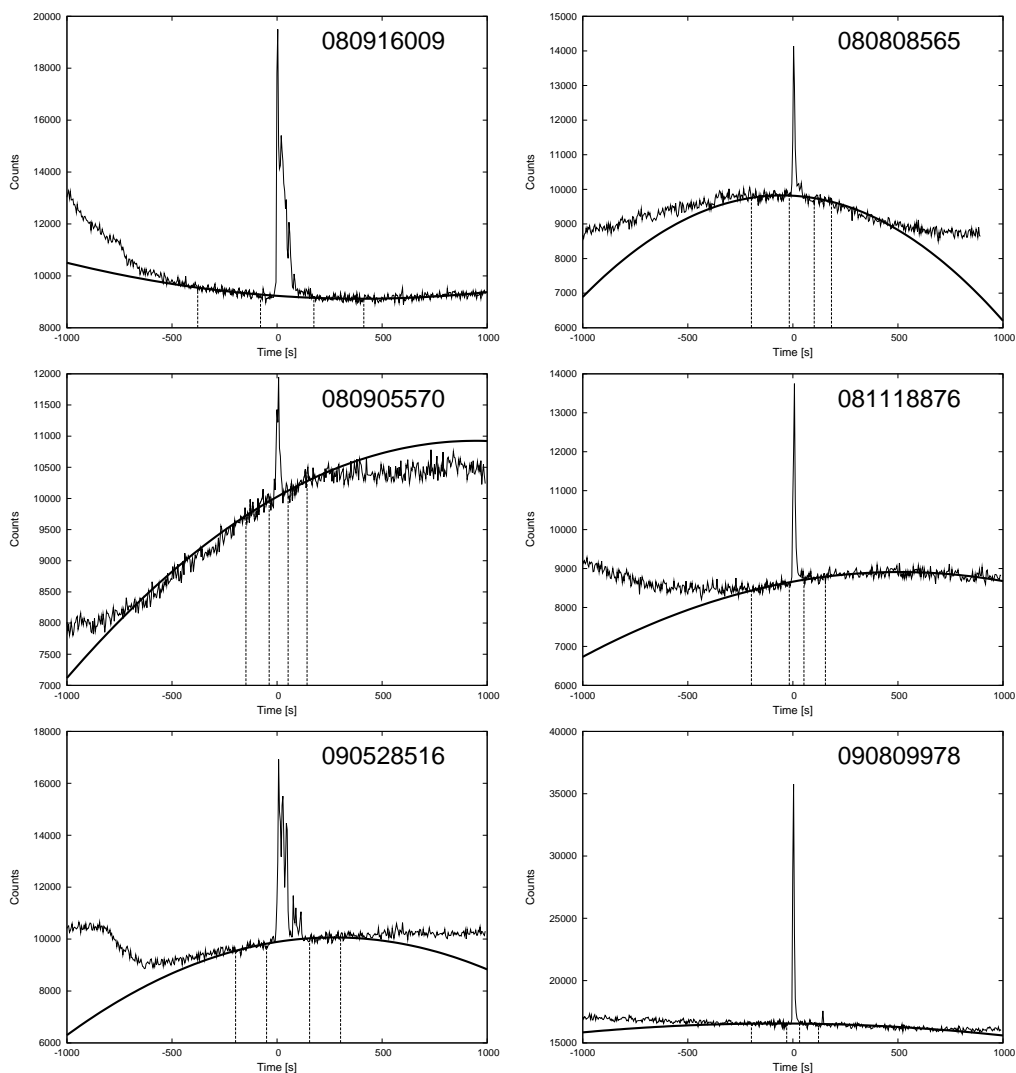
A háttérintervallumok kijelölése úgy történt, hogy szemmel megbecsültük azt a legnagyobb intervallumot, amelyen belül a parabolikus illesztés még összeegyeztethető az adatokkal. Összesen  $286$  kitörésről volt adat, ezekre tehát egyenként ki kellett jelölni a megfelelő háttérintervallumokat. A háttérintervallumok kijelölése  $286$  db kitörés esetén elég hosszú és kimerítő munka, ezért kicsit megkönnyítettem a dolgom azzal, hogy írtam egy programot, amit ha futtatok, kirajzolja a fénygörbét, és egy másik ablakba csak be kell írni a  $4$  számot (a háttérintervallumok kezdeteit és végeit), és ENTER után jön a következő fénygörbe rajzolása és a hozzá tartozó  $4$  szám beírása. A  $4$  számot egy külön fájlban tárolja.

A háttér illesztését a *gnuplot*<sup>2</sup> nevű programmal végeztem,  $\chi^2$ -módszerrel. (Egészen pontosan a *gnuplot* az ún. Marquardt–Levenberg-algoritmust használja, ami egy nemlineáris legkisebb négyzetek módszer. [24]) A következő alakú függvényt illesztettem:

$$f(x) = ax^2 + bx + c.$$

A kezdőértékek mindhárom változó esetén 1.0. (Tapasztalatom szerint ez a kezdeti érték adja a legjobb illesztést, illetve a legkisebb hibát. Megpróbáltam más alakú parabolafüggvénnyel és sokféle kezdőértékkel, de úgy a legjobb illesztésnek is kétszer akkora lett a hibája, mint az  $f(x)$  függvénnyel.) Az átlagos hibák a következők:  $\sigma_a = 30\%$ ,  $\sigma_b = 10\%$ ,  $\sigma_c = 0.1\%$ . Ennél jobbat semmilyen függvényalakkal és kezdőértékkel sem sikerült elérni, mindazonáltal, mint látható a 18. ábrán is, a görbék jól illeszkednek a háttérre. A *gnuplot* az illesztett paramétereket ( $a$ ,  $b$ ,  $c$ ) fájlba mentette.

A 18. ábrán néhány fénygörbét mutatok, szaggatott függőleges vonalak között jelölve a kijelölt háttérre, és rárajzolva az illesztett parabolát.



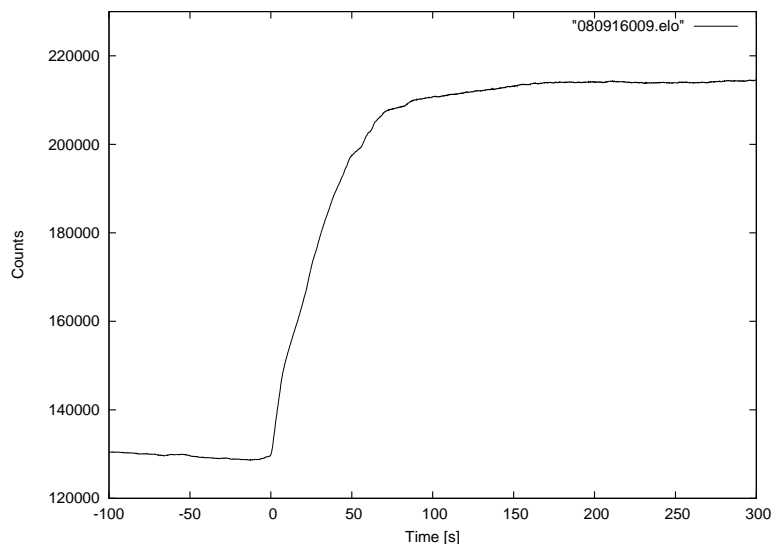
18. ábra. Néhány kitérés háttérillesztése. A függőleges vonalak közötti rész a kijelölt háttér, amire az illesztés történt. A vastaggal rajzolt parabolák szemmel láthatóan jól illeszkednek a kijelölt háttérre.

<sup>2</sup>[www.gnuplot.info](http://www.gnuplot.info)

#### 5.1.4. A háttér levonása és az integrális görbe elkészítése

Most vissza kell térni a 64 ms felbontású adatsorokhoz (ld. 15. ábra). Ezek alkalmasak arra, hogy levonjuk belőlük az illesztett háttérrel, mivel ez az elérhető legjobb időbeli felbontás. (Magához az illesztéshez nem kellett nagy felbontás, itt jól használható volt a 4096 ms binszélességű adatsor is.)

Az illesztésből kapott a, b, c értékeket osztani kellett 64-gyel, hogy a 4096 ms-os binekre illesztett érték kompatibilis legyen a 64 ms-os binszélességű adatokkal. A levonást és az integrálást elvégző programom egy fájlt készít, mely tartalmazza az integrált fénygörbét (19. ábra).



19. ábra. A 080916009-es kitörés fénygörbéjének fölintegrált alakja, a kitörés körüli tartományra ráközelítve.

Megjegyzem, hogy az integrális görbék elkészítése után néhány kitörést újra kellett illeszteni, mivel látszott, hogy az első illesztés nem volt pontos (pl. a kitörés előtt, illetve utána maradt az integrális görbében egy negatív, vagy pozitív trend, ami elvileg lehetetlen, tehát az illesztés nem volt helyes). Voltak olyan kitörések is, melyek esetében a második illesztés sem bizonyult sikeresnek, ezeknél valószínűleg egy magasabb fokú görbe illesztésével megoldható lenne a probléma, de most az ilyeneket egyelőre kihagyjuk a további elemzésből. Kihagyjuk továbbá a nagyon zajos görbéket, melyeknél sem a háttér leválasztása, sem a fölintegrálás nem vezetett oda, hogy kiderüljön: valóban gamma-kitörésről van szó, nem pedig csak valamilyen fluktuációról. Így végeredményben 126 db kitörés maradt, melynél a további vizsgálatokat elvégezzük.

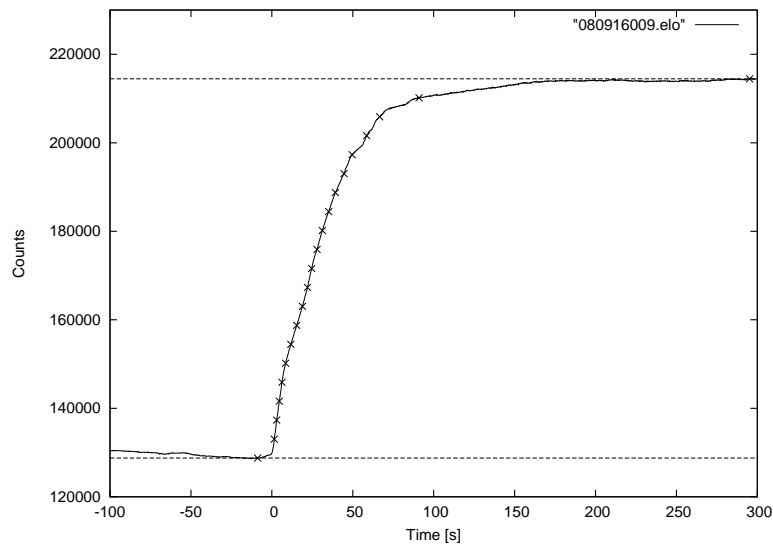
#### 5.1.5. Az integrális görbe feldolgozása

A  $T_{90}$  meghatározásánál a már fent ismertetett módon jártam el (ld. 4.1. fejezet).

Ahhoz, hogy a  $T_{xx}$  mennyiségeket meg tudjuk határozni a kész integrális görbékéből, ki kell jelölni a minimum és maximum szinteket, melyek között elvileg monoton növekvő a függvény. Ez persze nem könnyű feladat, mivel még a háttér levonása után is terhelt a görbe valamennyi hibával, így a két szint nem teljesen egyenes (sőt néhány esetben még az is előfordul, hogy a monoton növekvés sem teljesül, ha a háttérillesztés nem volt tökéletes). Ez azonban a  $T_{90}$  értékét csak nagyon kis mértékben fogja befolyásolni, mivel definíció szerint az első és utolsó 5% nem számít bele az értékébe.

Tehát a két szint (nevük ezentúl  $c_0$  és  $c_{100}$ ) kijelölését szintén kézzel kellett elvégezni a 126 vizsgált kitörés esetén. A 20. ábrán látható ez a kijelölés a már ismert 080916009-es kitörésre.

A  $c_0$  és  $c_{100}$  szintek között 20 egyenlő intervallumot jelöltünk ki, nevük rendre:  $c_5$ ,  $c_{10}$  stb., ezekhez az integrális görbén hozzárendeltük a megfelelő  $t_5$ ,  $t_{10}$  stb. értékeket. Mindebből következik, hogy  $T_{90} = t_{95} - t_5$ ,  $T_{80} = t_{90} - t_{10}$  és így tovább, definiálható bármely  $T_{xx}$ ,



20. ábra. A 080916009-es kitörés integrált fénygörbéje, a kijelölt  $c_0$  és  $c_{100}$  szintek szaggatott vonallal jelölve látszanak, a kis  $\times$ -ek pedig a  $t_5$ ,  $t_{10}$  stb. értékeket jelölik.

valamint ennek analógiájára definiálhatók a  $C_{90} = c_{95} - c_5$ ,  $C_{80} = c_{90} - c_{10}$  stb. értékek is.

Valamennyi értéket egy közös táblázatba írtam, melynek első oszlopa a kitörések neve, a többi oszlop rendre a  $t_0$ ,  $t_5$ ,  $t_{10}$  ...  $c_0$ ,  $c_5$ ,  $c_{10}$  ...  $T_{90}$ ,  $T_{80}$ ,  $T_{70}$  ...  $C_{90}$ ,  $C_{80}$ ,  $C_{70}$  ... értékei. Az így kapott adatsor alkalmas a további vizsgálatokra.

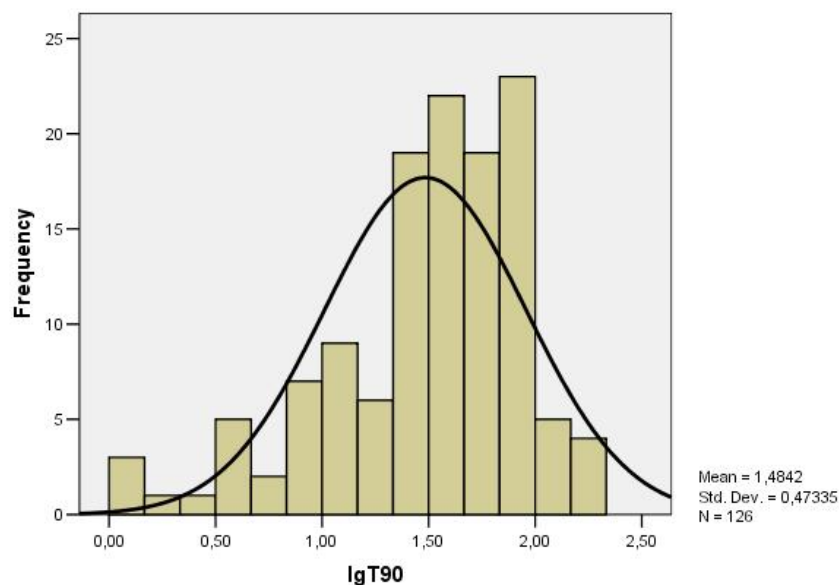
## 6. Eredmények

Bár a dolgozat lényegi része a módszer ismertetése, mellyel a  $T_{xx}$  értékeket meghatároztuk, a végén elvégzünk néhány statisztikus vizsgálatot a kapott adatsoron. Ez azért is szükséges, hogy ellenőrizhessük, hogy a módszerünk helyes-e, vagyis az adatsor mutatja-e azokat a tulajdonságokat, melyeket már bebizonyítottak korábban más módszerrel készült adatsorokra. Éppen ezért a 4.2. fejezetben bemutatott módszereket fogjuk alkalmazni.

### 6.1. A kitörések időtartamának eloszlása

A 4.2.1. fejezetben írtak szerint a  $T_{90}$  időtartamok tizes alapú logaritmusával valamilyen két csúcús eloszlást követ. A következőkben megvizsgáljuk, hogy teljesül-e ez a tulajdonság a kapott mintára.

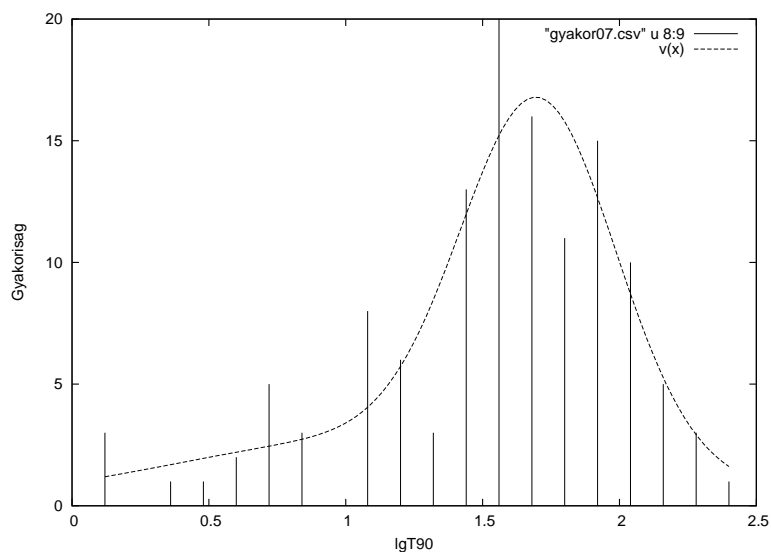
A 21. ábrán látható az általunk vizsgált 126 kitörés eloszlása. (Az ábra az *SPSS* statisztikai programcsomaggal<sup>3</sup> készült.) A folytonos fekete görbe egy egyszerű normális eloszlás görbéje, az összehasonlíthatóság kedvéért. Megfigyelhető, hogy az eloszlást lényegében a hosszú kitörések ( $T_{90} > 2$  s, azaz  $\lg T_{90} > 0,3$ ) dominálják, eltekintve attól a kis csúcstól 0 és 0,3 között, melyet a mintában lévő, mindössze három darab 2 s-nál rövidebb kitörés okoz.



21. ábra. A 126 vizsgált kitörés  $\lg T_{90}$ -einek eloszlása. A fekete vonal a legjobban illeszkedő normális eloszlás görbéje, átlaga és szórása az ábra jobb alsó sarkában van feltüntetve. A 0 és 0,3 között látható, 3 kitörésből álló csúcstól a mintában lévő rövid kitörések alkotják.

Az említett három rövid kitörés túl kevés ahhoz, hogy a két csúcús eloszlást illeszteni tudjuk a mintára. Viszont már a 21. ábrán is látszott, hogy a hosszú kitörések eloszlása nem szimmetrikus, hanem a rövidebb idők irányában lassabban cseng le, mint a hosszabb idők irányában. Ezt az effektust igyekeztem illeszteni a 22. ábrán látható görbével (ez az ábra a *gnuplottal* készült).

<sup>3</sup><http://www.spss.hu/>



22. ábra. A 126 vizsgált kitörés  $\lg T_{90}$ -einek eloszlása. A szaggatott vonal a (2) képlettel adott kétcsúcú Gauss-görbe, az illesztett paraméterek a képlet alatt láthatók.

Az illesztett görbe alakja és paraméterei:

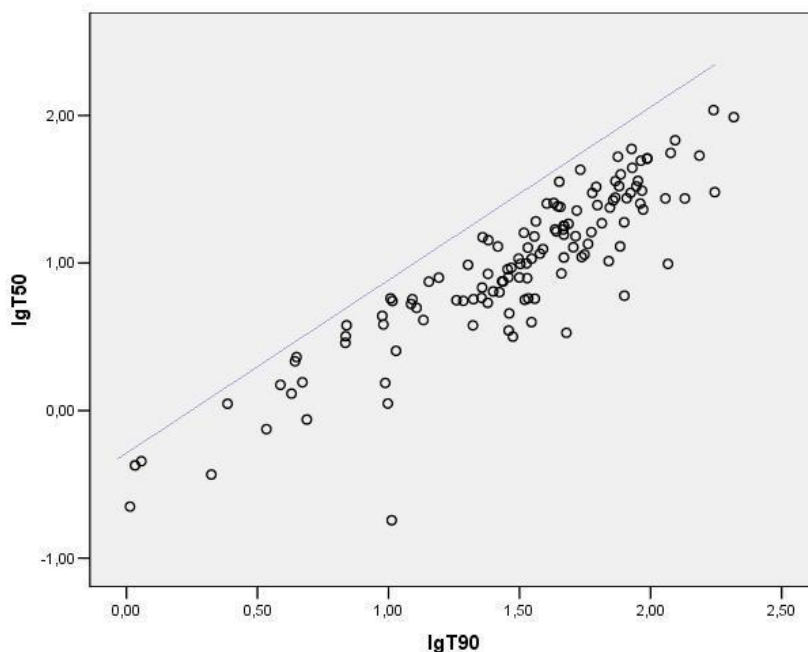
$$v(x) = \frac{A_1}{\sigma_1 \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu_1)^2}{2\sigma_1^2}} + \frac{A_2}{\sigma_2 \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu_2)^2}{2\sigma_2^2}} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} A_1 &= 5,83 & \mu_1 &= 1,19 & \sigma_1 &= 0,81 \\ A_2 &= 10,13 & \mu_2 &= 1,70 & \sigma_2 &= 0,28 \end{aligned}$$

Kérdés, mi okozhatta, hogy az eloszlás nem szimmetrikus. Mielőtt ennek magyarázatát keressünk, mindenképp még szélesebb körű vizsgálatot kell folytatni, belevonva a többi Fermi által detektált kitörést és valamennyi detektor adatát (nem csak a triggereltékét). Erre egy későbbi munkában kerül majd sor. A jelenleg rendelkezésre álló adatok alapján mindenesetre elképzelhető, hogy a szimmetriától való eltérést a közepes csoport (*intermediate*, lásd 2.2. fejezet) okozza.

## 6.2. A $T_{90}$ és $T_{50}$ kapcsolata

A 4.2. fejezetben túlmenően érdemes megvizsgálni még a  $T_{90}$  és a  $T_{50}$  értékek közötti összefüggést. Természetesen korrelációt várunk, mivel ez a két paraméter nem független egymástól (ha a  $T_{50}$  nagyobb, adódik, hogy a  $T_{90}$ -nek is nagyobboknak kell lennie). Egymás függvényében ábrázolva őket a 23. ábrát kapjuk.



23. ábra. A  $T_{90}$  és a  $T_{50}$  értékek kapcsolata. A két érték korrelál egymással 0,01 szignifikanciaszinten.

Correlations

		lgT90	lgT50
lgT90	Pearson Correlation	1	,896**
	Sig. (2-tailed)		,000
	N	126	126
lgT50	Pearson Correlation	,896**	1
	Sig. (2-tailed)	,000	
	N	126	126

\*\* . Correlation is significant at the 0.01 level

24. ábra. A  $T_{90}$  és a  $T_{50}$  értékek közötti korrelációs számítás eredménye.

A 24. táblázatban feltüntettük a korrelációs számítás eredményét is, mely azt mutatja, hogy a két vizsgált paraméter valóban korrelál egymással, ahogy vártuk.

A 23. ábrán feltűnő még, hogy a lila vonalon fölül nincs egy pont sem. Ez a mesterséges határ azért van, mert a  $T_{50}$  definíció szerint nem lehet nagyobb a  $T_{90}$ -nél.



## 7. Összegzés

Áttekintettük a gamma-kitörések kutatásának főbb állomásait és eredményeit, valamint a jelenség lefolyására kidolgozott modelleket. Bemutattuk a Fermi mesterséges hold felépítését, működését és a földre továbbított adatok típusait. Definiáltunk néhány statisztikus paramétert a kitörések jellemzésére (köztük a nevezetes  $T_{90}$ -et), és összegyűjtöttük azokat a tudományos eredményeket, melyek a közöttük lévő kapcsolatokat vizsgálták. A  $T_{90}$  definícióját felhasználva a Fermi által detektált kitörések közül 126-ra meghatároztuk a  $T_{90}$ -et (és a többi  $T_{xx}$ -et is). Ennek módszere: a fénygörbe elkészítése a nyers adatokból, a fénygörbén a megfelelő háttérintervallumok kijelölése, a háttérre elméleti görbe illesztése és levonása a fénygörbéből, a zajmentes fénygörbe fölintegrálása, az integrált fénygörbén a maximum és minimum szintek és ezekhez képest a  $t_{xx}$  értékek kijelölése, és végül a  $T_{90}$  kiszámolása. A végén a kapott mintán elvégeztük azokat a statisztikus vizsgálatokat, amiket korábban leírtunk, ezzel ellenőrizve a kidolgozott módszer helyességét.

Fontos hangsúlyozni, hogy ez a 126 kitörés csak töredéke a Fermi által detektált kitöréseknek. A műhold a tervek szerint még jó pár évig pályán marad és kutat további gamma-felvillanások után – lesz tehát ok, hogy a munkát folytassuk és földolgozzuk a többi kitörést is: azokat, amelyek most kimaradtak, és azokat, amelyek még be sem következtek.

## 8. Köszönetnyilvánítás

Szeretnék köszönetet mondani témavezetőmnek, Horváth Istvánnak a türelmes, kitartó munkájáért és a lelkesítésért. Továbbá Balázs Lajos és Bagoly Zsolt tanár uraknak a tanácsokért, ötletekért és magyarázatokért, Veres Péternek az apró segítségéért, trükkökért, valamint Szabó Áronnak a biztatásért és a nyelvtani hibák kijavításáért.

## 9. Függelék

### 9.1. A dolgozatban fölhasznált kitörések listája

A 4. táblázatban felsorolom a munkánk során elemzett kitöréseket. Feltüntettem mindegyik neve mellett a kijelölt háttérintervallumokat (a négy szám rendre az első háttér elejének, végének, a hátsó háttér elejének és végének időpontja, lásd a 5.1.3. fejezetet), a háttérre illesztett parabola paramétereit (ld. a 5.1.3. fejezetet), valamint a kapott  $C_{90}$  és  $T_{90}$  értékeket (lásd a 5.1.5. fejezetet).

Név	Háttérintervallumok [s]	Illesztett paraméterek (a,b,c)	$C_{90}$	$T_{90}$ [s]
080714745	-364 -130 90 291	-0.0018 -0.7082 9092.2021	12420	135.07
080723557	-41 -7 131 185	0.0005 -10.4488 8348.9644	84249	76.88
080723985	-233 -7 68 230	-0.0032 -2.1193 9043.9838	29547	42.67
080724401	-200 -20 90 150	0.0016 2.0931 9354.4868	16731	46.79
080725435	-369 -163 77 247	-0.0011 -0.0549 8641.3006	13244	51.74
080727964	-152 -57 151 234	-0.0004 -2.1736 8031.9511	17055	92.72
080730520	-49 -7 57 99	0.0277 -1.5111 15372.2802	9968	36.17
080730786	-200 -20 50 150	0.0015 -2.5280 10728.5532	13410	35.12
080804972	-180 -50 80 200	0.0011 -2.6517 13039.7667	16749	35.15
080805496	-200 -40 100 200	0.0006 0.2097 8648.2331	7710	93.63
080805584	-200 -40 100 130	-0.0034 -2.2546 9277.2416	7380	75.84
080807993	-53 -7 70 103	-0.0046 0.9035 9958.5776	6952	57.71
080816503	-110 -20 100 200	0.0033 -0.3783 7560.2109	18198	69.92
080817720	-100 -10 20 90	-0.0114 0.6325 9680.1185	1071	3.87
080824909	-200 -30 50 150	0.0024 -1.2665 9062.7173	7605	23.91
080825593	-200 -30 70 200	-0.0004 -0.5470 12147.5918	40698	26.13
080830368	-80 -50 80 150	-0.0030 -0.8382 10282.7010	8775	43.73
080831921	-100 -25 110 200	0.0014 0.7877 10291.6330	11313	75.00
080904886	-200 -40 35 55	-0.0059 -4.1390 8721.3690	17608	19.28
080905499	-200 -30 150 200	0.0032 0.9707 19864.3584	4725	96.98
080905705	-30 -20 40 60	0.1184 1.7724 11326.1380	4545	29.40
080906212	-200 -20 30 150	-0.0043 -0.3614 13334.4667	7317	2.43
080916009	-381 -74 171 417	0.0007 -0.5650 9231.7385	77130	89.44
080916406	-324 -25 306 376	-0.0004 -0.0187 8260.6376	16425	62.66
081006604	-100 -20 40 110	0.0088 2.4616 10243.9025	2781	61.98
081006872	-200 -20 30 200	-0.0014 0.6826 9015.5641	747	4.46
081008832	-100 -20 200 300	-0.0023 -2.1048 8327.8645	12186	173.85
081009140	-200 -10 80 200	-0.0017 -3.1237 10104.3037	121185	44.83
081009690	-200 -20 60 100	0.0049 1.3116 9230.0214	14922	36.03
081012045	-100 -20 50 150	0.0032 0.9112 10500.8789	630	2.11
081012549	-150 -40 100 150	0.0010 0.4752 9563.3627	3996	45.66
081021398	-200 -20 70 100	0.0050 1.2171 10007.8043	7826	46.68
081022364	-200 -50 100 200	0.0010 0.3870 10285.8021	1750	12.33
081024851	-70 -30 80 150	0.0064 -5.6451 19784.1430	23283	71.96
081024891	-70 -20 20 60	0.0574 10.3202 17949.2121	945	20.99
081025349	-50 -20 50 150	-0.0056 0.0014 15169.4558	7875	43.19
081028538	-100 -30 50 90	0.0109 -0.6565 8492.2435	4680	28.88
081110601	-200 -20 80 200	-0.0018 -2.1529 9080.8013	9698	33.61
081121858	-200 -50 50 200	-0.0013 -0.2069 9181.2282	11664	54.59
081129161	-200 -40 70 120	0.0007 -2.9812 10228.3885	18270	59.42
081130212	-40 -10 25 75	0.0337 1.4421 8932.9064	700	4.40
081130629	-200 -50 35 80	-0.0043 -1.3515 9024.1221	3892	21.08

4. táblázat.

Név	Háttérintervallumok [s]	Illesztett paraméterek (a,b,c)	$C_{90}$	$T_{90}$ [s]
081204004	-110 -30 30 100	0.0327 -8.9060 12461.6133	1692	9.72
081206987	-100 -20 35 100	-0.0100 0.6146 9988.2797	3015	23.97
081216531	-200 -20 30 200	0.0015 -2.1885 7501.6973	1395	10.28
081217983	-200 -50 100 200	-0.0002 -0.5788 13253.6887	24210	55.93
081222204	-70 -20 60 100	0.0051 -1.8674 13326.6444	15255	34.11
081225257	-180 -60 80 160	0.0034 -1.6716 8672.0121	7164	46.48
081226156	-200 -100 50 100	-0.0025 -0.4861 8026.4051	11889	85.08
081231140	-200 -30 80 200	0.0010 1.8902 8702.4250	26730	36.48
090101758	-200 -20 180 300	0.0020 -1.8753 12054.7991	26595	116.43
090102122	-100 -20 100 200	0.0020 -0.5774 7972.9668	29880	34.02
090112332	-150 -50 80 100	-0.0042 0.5790 8850.9869	7380	44.21
090112729	-86 -20 179 402	0.0003 -0.1167 9374.5712	17460	79.40
090117632	-200 -100 100 200	0.0031 0.4226 8483.0551	18027	91.80
090124175	-70 -10 20 70	0.0083 -0.3218 11716.7203	810	1.14
090126227	-99 -16 352 451	0.0002 -1.9661 11019.0368	3987	9.56
090126245	-200 -30 40 200	0.0011 -1.9931 11884.1837	711	10.35
090131090	-200 -20 180 338	-0.0039 -1.0970 10151.1927	42525	91.32
090131590	-100 -20 200 300	0.0018 0.7284 14040.9149	6345	175.67
090202347	-10 -2 50 80	-0.1027 -5.2180 12791.1434	10134	33.79
090217206	-100 -10 50 180	-0.0021 1.9611 16264.0426	37350	31.84
090225009	-30 -10 20 40	0.1058 3.8181 9967.8937	1584	22.87
090301315	-61 -24 29 49	-0.0127 -0.8688 12909.4671	5040	22.65
090309767	-110 -30 90 120	0.0041 2.0168 10529.0002	7875	76.52
090310189	-200 -50 250 300	0.0089 -3.6266 12273.0012	13860	207.64
090316311	-70 -30 30 60	-0.0085 -8.2789 8877.8076	2025	25.08
090319622	-105 -50 75 115	0.0071 2.4994 12890.4660	14220	59.91
090320045	-200 -40 40 100	-0.0044 -0.0319 9373.9269	1233	29.82
090320801	-150 -20 90 200	0.0001 -0.4720 8471.5583	4005	31.36
090326633	-200 -30 40 200	-0.0031 -0.5520 13670.7787	4680	10.19
090327404	-200 -30 45 136	-0.0035 0.5212 8887.4225	7110	31.56
090328401	-200 -20 110 200	-0.0016 1.4453 8847.6047	44730	65.15
090403314	-123 -28 16 62	0.0012 0.0261 9686.1697	2745	15.56
090409288	-60 -30 25 65	0.0435 -9.9258 9551.1064	2448	28.46
090413122	-200 -50 50 200	-0.0002 1.8948 12005.5267	3870	37.84
090423330	-200 -30 80 120	0.0025 -0.8747 10195.4810	2745	26.51
090424592	-200 -20 100 200	-0.0010 -0.5198 9621.7808	67860	47.71
090425377	-200 -20 120 220	-0.0014 -0.7348 9921.4218	26505	69.22
090427644	-200 -30 40 200	-0.0001 2.4743 10966.2333	1485	53.93
090427688	-200 -50 80 150	0.0045 -0.9920 7374.2486	4230	22.76
090428441	-200 -30 50 200	0.0071 -1.0618 10564.4247	3240	83.86
090428552	-200 -40 70 200	-0.0008 -0.8380 8024.5861	11520	27.38
090429530	-200 -30 60 200	0.0019 -2.2803 10196.3022	2970	12.19
090429753	-200 -50 30 100	-0.0009 0.1564 8687.8843	576	1.03
090502777	-200 -55 110 200	-0.0018 -0.5605 11197.6340	10890	97.06
090510016	-200 -20 20 50	-0.0024 -1.5162 14178.2781	3294	9.94
090510325	-200 -20 40 200	0.0021 -1.2451 10584.4975	1080	6.86

4. táblázat. (folytatás)

Név	Háttérintervallumok [s]	Illesztett paraméterek (a,b,c)	$C_{90}$	$T_{90}$ [s]
090511684	-110 -30 100 200	0.0063 -3.0579 8080.9243	2835	84.60
090513916	-200 -30 100 200	-0.0040 -0.7466 13623.9353	6300	81.04
090514726	-200 -20 30 150	-0.0058 -1.3956 14978.6111	2115	3.42
090514734	-200 -70 95 200	-0.0004 -0.7084 9794.4390	16740	79.29
090516137	-200 -50 200 300	0.0018 2.7277 8188.8449	33930	153.54
090516853	-200 -100 70 200	-0.0008 0.2043 10418.9789	8010	46.67
090518080	-70 -20 30 95	0.0183 -0.8517 9880.3701	1395	4.27
090518244	-200 -50 50 200	0.0003 0.0945 7469.2709	3150	6.92
090519462	-120 -50 100 200	0.0086 -1.0941 10192.3091	6480	88.16
090519881	-200 -30 90 130	0.0016 -3.4860 16715.9862	4842	46.63
090520832	-200 -30 65 190	0.0001 -0.5066 14600.8894	486	1.08
090520876	-150 -30 40 200	0.0069 -3.7987 16422.9912	21735	27.12
090522344	-90 -30 40 90	0.0321 -1.3018 11056.0895	4230	50.72
090528173	-90 -40 60 150	-0.0039 1.5901 9069.6658	15750	48.60
090528516	-200 -50 150 300	-0.0023 1.2654 9890.7070	57240	88.21
090602564	-200 -30 40 200	-0.0020 -0.1914 17017.7279	5760	28.66
090610723	-90 -20 30 90	0.0385 -3.6196 10323.5403	2475	33.11
090610883	-55 -20 30 100	-0.0123 -1.3709 13401.2683	2250	12.80
090612619	-200 -100 50 200	0.0006 0.7092 9713.1621	7875	40.16
090616157	-200 -30 50 200	0.0001 -0.1564 10264.8319	490	4.88
090621417	-90 -20 70 130	-0.0147 1.3081 12333.9528	5940	32.84
090623913	-300 -200 100 200	0.0007 0.5123 13117.5849	11610	113.87
090625560	-150 -50 30 90	-0.0059 0.7185 10514.8128	2840	13.59
090629543	-200 -30 50 200	-0.0002 0.2891 10263.9139	1890	38.85
090630311	-100 -20 30 100	-0.0129 -2.4195 10200.5175	3240	10.68
090701225	-140 -20 30 120	0.0024 1.0169 9294.4623	2160	28.73
090703329	-150 -30 30 150	-0.0005 -0.3005 8732.6399	2295	9.46
090704242	-200 -20 100 200	-0.0021 2.1058 10419.5198	20475	73.41
090704783	-200 -30 100 200	-0.0029 -0.1394 16034.0270	4770	20.11
090712160	-200 -70 100 200	0.0034 2.7343 9306.0694	7560	52.24
090720276	-100 -20 30 150	-0.0019 0.8629 9229.3254	4320	4.70
090725838	-160 -30 40 170	-0.0098 -5.2100 15659.4129	6030	14.26
090730608	-200 -20 70 200	-0.0006 -3.5874 10033.3739	3870	18.17
090804940	-200 -20 40 200	0.0014 0.8674 9996.3803	21915	6.85
090810659	-200 -40 170 230	0.0025 -0.0681 9145.6347	22185	124.03
090810781	-200 -20 110 250	0.0049 -1.1066 10190.5493	14130	73.28
090814950	-80 -20 180 300	-0.0047 -1.1634 15592.7528	20475	119.26
090815438	-200 -30 50 200	-0.0034 -1.6298 8514.1899	8910	24.03

4. táblázat. (folytatás)

## Hivatkozások

- [1] Bagoly, Z., 2005, Meteor Cs. É. 233
- [2] Balázs, L.G., et al. 1998, A&A, 339, 1
- [3] Balázs, L.G., et al. 1999, A&A Sup. 138, 417
- [4] Balázs, L.G., et al. 2003, A&A, 401, 129
- [5] Balázs, L.G.; Bagoly,Z.; Horváth,I.; Mészáros,A.; Mészáros,P. 2004, BaltA., 13, 207B
- [6] Dado, S. et al. 2003, Physics Letters B, 562, 3-4
- [7] Hededal, C., 2005, PhD thesis (Gamma-Ray Bursts, Collisionless Shocks and Synthetic Spectra)
- [8] Horváth, I., 2002, A&A 392, 791-793
- [9] Horváth, I., Balázs, L.G., et al. 2006, A&A, 447, 23
- [10] Horváth, I., et al. 2008, A&A, 489, L1-L4
- [11] Lipunov, V. M. et al. 1997, A&A (An independent estimate of the cosmological distance to GRB970228 and GRB970508)
- [12] Kouveliotou, C., Meegan, C. A., Fishman, G. J., et al. 1993, ApJ, 413, L101
- [13] Medvedev, M. V., 2000, ApJ, 540, 704
- [14] Medvedev, M. V., 2009, ApJ, 702, L91
- [15] Meegan, C. et al., 2009, ApJ (The Fermi Gamma-Ray Burst Monitor)
- [16] Mészáros, A., et al. 2000, ApJ, 539, 98
- [17] Varga, B., 2005. diplomamunka, ELTE (Gamma-kitörések vizsgálata)
- [18] Vavrek, R., et al. 2008, MNRAS, 391, 1741
- [19] Veres, P., 2006, diplomamunka, ELTE (Gamma felvillanások spektrális elemzése)
- [20] Zhang, B., 2007, Chin.J.Astron.Astrophys. 7, 1-50
- [21] <http://fermi.gsfc.nasa.gov/>
- [22] <http://fermi.gsfc.nasa.gov/ssc/data/analysis/>
- [23] [http://gcn.gsfc.nasa.gov/gcn3\\_archive.html](http://gcn.gsfc.nasa.gov/gcn3_archive.html)
- [24] <http://www.gnuplot.info/>
- [25] <http://hirek.csillagaszat.hu/asztroblog/20080320-grb-szabadszemmel.html>
- [26] [ftp://legacy.gsfc.nasa.gov/compton/data/batse/ascii\\_data/](ftp://legacy.gsfc.nasa.gov/compton/data/batse/ascii_data/)
- [27] <http://portal.zmne.hu/download/bjkmk/bsz/bszemle2008/3/05%20varga.pdf>
- [28] [http://science.nasa.gov/headlines/y2009/28apr\\_grbsmash.htm?list1076597](http://science.nasa.gov/headlines/y2009/28apr_grbsmash.htm?list1076597)
- [29] sciencewatch.com: Peter Mészáros From the Special Topic of Gamma-ray Bursts (<http://sciencewatch.com/ana/st/gamma/09junGamMesz/>)