

Horváth István<sup>1</sup> 

# A gammakitörés-hosszúság és a spektrális keménységi adatok vizsgálatainak ellenőrzése a CGRO T50 és H32 adatok használatával

## Verifying Gamma-Ray Burst Duration and Hardness Analysis Using the Compton Gamma-Ray Observatory T50 and H32 Data

*A tanulmány a gammakitörések (GRB-k) időtartamának és statisztikai tulajdonságainak vizsgálatát mutatja be, különös hangsúllyal az adatelemzési módszerekre, a háttérkorrekcióra és a spektrális keménység elemzésére. A munka tárgyalja az észlelési torzítások hatását, valamint a kitörések időbeli és spektrális jellemzőinek kapcsolatát. A T50 és T90 paraméterek mellett a spektrális keménység eloszlásának vizsgálata is fontos szerepet kap, mivel ezek együttesen árnyaltabb képet adnak a GRB-k fizikai eredetéről. A kapott eredmények hozzájárulnak a gammakitörések osztályozásának pontosításához és az asztrofizikai modellek finomításához, továbbá módszertani alapot nyújtanak a jövőbeli nagy adatbázisokon végzett elemzésekhez. Az irodalomban jól ismert a BATSE H32-T90 síkon végzett kitörésoztályozás. Cikkünkben ezt megismételjük a H32-T50 paraméter síkon. Elemzésünk igazolja a H32-T90 elemzésekor kapott eredményt, hogy a kitöréseknek létezik egy harmadik, közepes hosszúságú csoportja. Ezek a gammakitörések tipikusan lágyabb spektrumúak, mint a másik két csoport tagjai.*

**Kulcsszavak:** gammakitörés, gammasugárzás, műholdak, statisztikus elemzés

*This study examines the duration and statistical characteristics of gamma-ray bursts (GRBs), with particular emphasis on data analysis techniques, background correction, and spectral hardness*

<sup>1</sup> Egyetemi tanár, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Természettudományi Tanszék, e-mail: [horvath.istvan@uni-nke.hu](mailto:horvath.istvan@uni-nke.hu)

*investigations. It discusses the impact of observational biases and explores the relationship between the temporal and spectral properties of GRBs. In addition to the T50 and T90 parameters, the analysis of spectral hardness distributions provides further insight into the physical origins and diversity of these events. The findings contribute to a more refined classification of GRBs and the improvement of astrophysical models, offering a methodological foundation for future analyses based on large datasets. The BATSE burst classification on the H32-T90 plane is well known in the literature. In our paper, we repeat this on the H32-T50 parameter plane. Our analysis confirms the result obtained in the H32-T90 analysis, that there is a third, intermediate duration group of bursts. These gamma-ray bursts typically have a softer spectrum than the members of the other two groups.*

**Keywords:** gamma-ray burst, gamma-ray, satellites, statistical analysis

## Bevezetés

A gammakitörések (gamma-ray bursts, GRB-k) a nagyenergiás asztrofizika legizgalmasabb és legtöbbet vizsgált jelenségei közé tartoznak. Ezek a rövid ideig tartó, ám extrém fényességű gammavillanások a kozmikus égbolton bármikor felbukkanhatnak, és pillanatok alatt olyan energiát bocsáthatnak ki, amely eléri akár a Nap teljes élettartama alatt kibocsátott energiát is.<sup>2</sup> Az 1960-as évek végén a Vela műholdakat a nukleáris tesztek figyelésére tervezték, de véletlenül felfedezték, hogy gammakitörések is léteznek.<sup>3</sup>

Kezdetben központi kérdésként állt az, hogy a GRB-k a Tejútrendszeren belül vagy azon túl keletkeznek-e. A BATSE- (Burst and Transient Source Experiment) műszer adatai döntő bizonyítékot szolgáltatottak az extragalaktikus eredetre: a kitörések előfordulása gömbszimmetrikusnak bizonyult, és nem mutattak preferált irányt, ami a kozmológiai forrásmodellt erősítette meg.<sup>4</sup> A GRB-k tehát nemcsak néhány száz fényévnnyire, hanem milliárd fényévnyi távolságból érkehetnek, ami igen nagy energiakibocsátást feltételez.<sup>5</sup>

A jelenlegi kutatások szerint a gammakitörések fizikailag nem egyetlen osztályba sorolhatók. A legelterjedtebb osztályozás a rövid ( $< 2$  s) és hosszú ( $> 2$  s) kitörések közötti különbséget használja, amelyek eltérő progenitorokra – azaz kiváltó fizikai folyamatokra – utalhatnak.<sup>6</sup> A hosszú GRB-k jellemzően nagytömegű csillagok összeomlásához (kollapszár modell) vezethetnek, míg a rövid GRB-k valószínűleg két kompakt objektum (neutroncsillag–neutroncsillag vagy neutroncsillag–feketelyuk) összeolvadásakor keletkeznek. Ezt a forgatókönyvet tovább erősítette az a megfigyelés, amikor egyszerre detektáltak gravitációs hullámot és GRB-t.

A gammakitörések megfigyelése számos technikai és módszertani kihívást tartalmaz. A kitörések tipikusan csak rövid ideig tartanak és meglepetésszerűen jelentkeznek, ezért szükségesek folyamatos, nagy látómezős űrteleszkópok és gyors, követő megfigyelések.

<sup>2</sup> PIRAN 2005.

<sup>3</sup> KLEBESADEL–STRONG–OLSON 1973.

<sup>4</sup> MEEGAN et al. 1992.

<sup>5</sup> GIOVANNELLI 2025.

<sup>6</sup> KOSHUT et al. 1996; BERGER 2014.

Az 1990-es évek elején a BATSE több ezer GRB-t azonosított és statisztikai adatbázist hozott létre. Ezt követték a BeppoSAX, HETE-2, majd a Neil Gehrels Swift Observatory és a Fermi Gamma-ray Space Telescope műholdak, amelyek már képesek voltak a kitörések helyének pontos meghatározására és az utófénylés (*afterglow*) korai megfigyelésére is.<sup>7</sup>

A megfigyelések azt mutatták, hogy a GRB-k időbeli lefutása rendkívül változatos: egyesek csak egyetlen rövid impulzust mutatnak, mások többszörös szerkezetűek. Ez a sokféleség szükségessé teszi az időbeli lefolyás alapos vizsgálatát. Ebben kiemelt szerepet kap a kitörés időtartama, amely nemcsak osztályozási szempont, hanem fontos fizikai jelzőként is szolgál.<sup>8</sup>

Az időtartam meghatározása azonban nem pusztán módszertani kérdés: alapvetően meghatározza, hogyan értelmezzük a kitörések fizikai természetét. A rövid és hosszú események mögött eltérő progenitorok állhatnak, és ezek eltérő környezetben keletkeznek. Az időtartam előre jelezheti a spektrális tulajdonságokat, az energiaeloszlást és az utófénylések viselkedését is.<sup>9</sup>

Továbbá, a GRB-k kozmológiai jelentőségük: mivel a fényük akár nagy vöröseltolódott forrásból is érkezik, betekintést nyújtanak a korai csillagkeletkezésbe és a Világegyetem szerkezetének alakulásába. Az időtartam-eloszlás alapos vizsgálata tehát nemcsak az esemény fizikai kiváltó okára utal, hanem arra is, hogy milyen környezetben, milyen távolságból figyeljük meg ezeket a kitöréseket.

## A gammakitörések időtartama

A gammakitörések időtartamának pontos meghatározása a megfigyelési asztrofizika egyik alapvető, mégis összetett feladata. Ennek elsődleges oka, hogy a detektált fotonokról – a legtöbb esetben – nem tudhatjuk, pontosan milyen irányból érkeztek. A Swift műhold az egyetlen, amely a kitörések irányát nagy pontossággal képes meghatározni, de az előző generációs műszerek, például a BATSE esetében az egyes fotonok forrásirányáról nincs információnk. Ezért a háttérből származó, illetve a forrásból érkező fotonok egymástól statisztikailag sem mindig különíthetők el. A feladat tehát nem csupán a fénygörbe leírása, hanem annak eldöntése is, hogy mikor kezdődött és mikor ért véget maga a kitörés.

A kitörések fénygörbéjén jól azonosíthatók olyan időszakok, amikor a mért intenzitás szignifikánsan meghaladja a háttérszintet. Ezt a növekedést értelmezzük a kitörés kezdete-ként, azonban a folyamat vége gyakran bizonytalan, mivel a jel fokozatosan tér vissza a háttér szintjére. A fotonok időbeli eloszlása természetesen nem folytonos, hiszen a detektor diszkrét beütéseket mér. Így a „fénygörbe” fogalma is csak statisztikai értelemben érvényes: az egyes fotonbeütéseket adott időintervallumokba rendezzük, majd az adott rekeszben (úgynevezett binben) összesítjük a beérkező fotonok számát. Ezt a műveletet binelésnek nevezzük.

Az így kapott, időben diszkrét adatsor a kitörés időbeli lefolyását mutatja. A hagyományos gyakorlat szerint a binméret az egész adatfolyamon azonos, bár bizonyos esetekben – például rendkívül rövid, néhány tizedmásodperces GRB-k esetén – érdemes változó időfelbontást

<sup>7</sup> BALÁZS et al. 2006; PÉREZ-RAMÍREZ et al. 2010; HAKKILA et al. 2018; HORVÁTH et al. 2019.

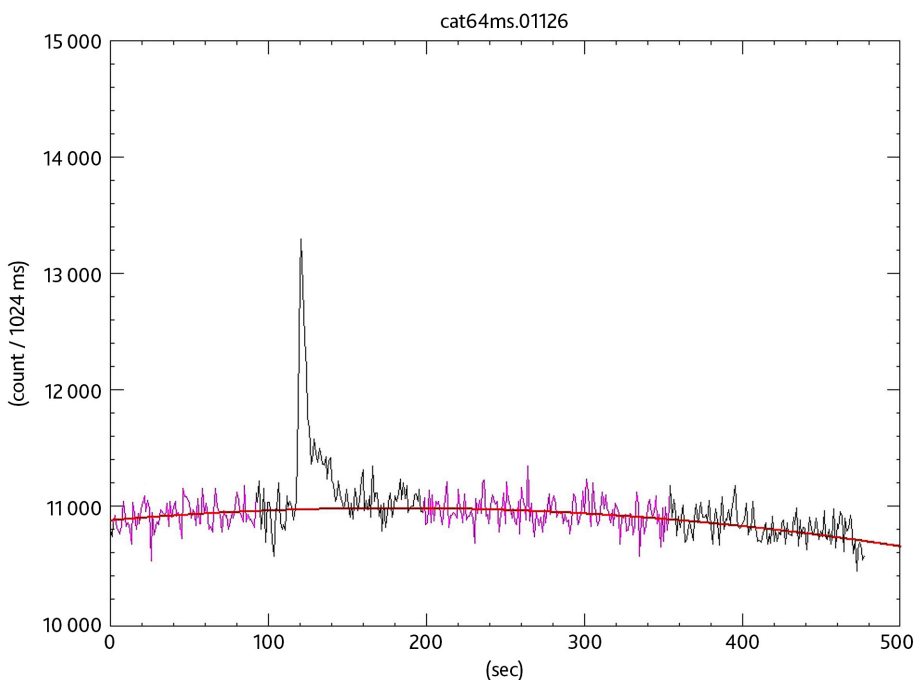
<sup>8</sup> ZHANG 2018.

<sup>9</sup> GIOVANNELLI 2025.

alkalmazni. Az egységes binelés ugyanakkor megkönnyíti a különböző események és műszerek adatainak összehasonlítását.

A mért időskála természetesen a választott binhossztól függ: az időtartamot a rekesz-hossz egész többszöröseként tudjuk megadni. Ha jobb időfelbontású adat áll rendelkezésre, finomabb, részletesebb leírást is készíthetünk, ami segít a rövid időskálájú változások vizsgálatában. Fontos azonban megérteni, hogy a kitörés alatt folyamatosan érkeznek fotonok a háttérből is. Ezért alapvető fontosságú a háttér intenzitásának és időbeli változásának pontos ismerete – különben a kitörés tényleges hossza és energetikai jellemzői jelentős bizonytalanságot szenvednek.

A probléma itt egy klasszikus körkörös helyzetet mutat: a háttérszintet csak akkor tudnánk jól meghatározni, ha már ismernénk a kitörés időtartamát, ugyanakkor az időtartamot sem tudjuk pontosan megadni a háttér ismerete nélkül. Ebből a circulus vitiosusból a kiutat az úgynevezett „biztos” háttérintervallumok kijelölése jelenti. Ezek olyan időszakok, amelyekről nagy biztonsággal tudjuk, hogy a kitörés előtt vagy után történtek, és nem tartalmaznak a forrásból származó sugárzást. Ezekből az intervallumokból a háttér viselkedése jól modellezhető, és az így kapott illesztés alapján levonható a mért jelből (lásd az 1. ábrát).



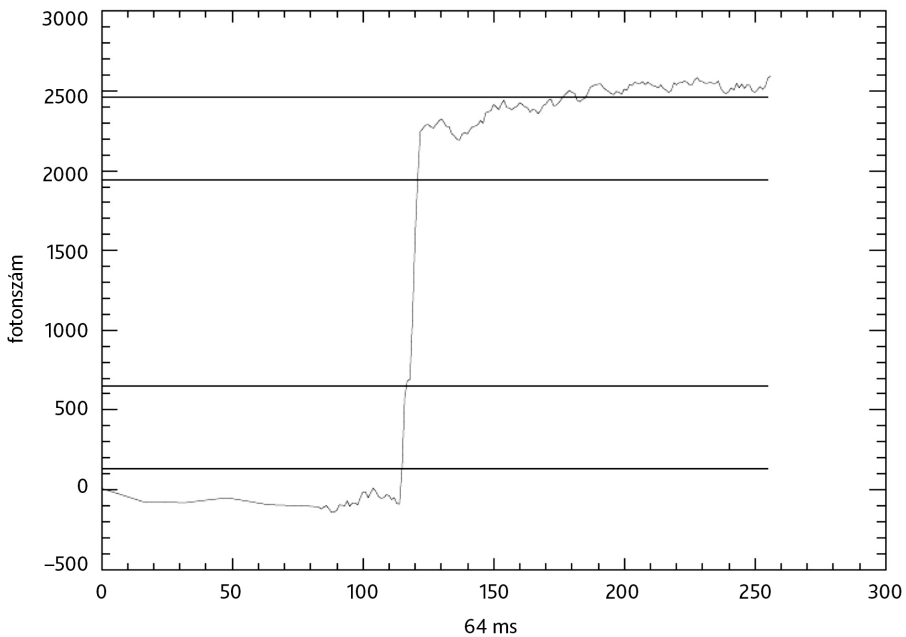
1. ábra: A 01126 számú kitörés gamma „fénygörbéje”. Vízintesen az idő van feltüntetve másodpercekben, függőlegesen a beütésszám

Forrás: a szerző szerkesztése

A BATSE-műszer, a Compton Gamma Ray Observatory (CGRO) fedélzetén, több mint 2700 kitérészt figyelt meg 1991 és 2000 között. Az úgynevezett négycsatornás BATSE-adatok elérhetők a NASA HEASARC adatbázisában, így bármely kutató önállóan is elvégezheti az adatfeldolgozást. Jay Norris és munkatársai<sup>10</sup> részletesen meghatározták a BATSE-kitérés háttér- és kitérés intervallumait, valamint a kitérés idõtartamát jellemzõ mennyiségeket. Mivel ezeket az idõintervallumokat a szakirodalomban széles körben használják, célszerû ezekhez igazodni, így az újabb eredmények közvetlenül összehasonlíthatók korábbi vizsgálatokkal.

Norris és kollégái nemcsak az idõintervallumokat definiálták, hanem a háttérillesztéseket is elvégezték. Eredményeiket saját elemzésemben is ellenõriztem, és hasonló vizsgálatot végzett Varga Balázs diplomamunkájában.<sup>11</sup> A három elemzés eredményei néhány ezrelékes pontossággal megegyeztek, ami azt mutatja, hogy a háttér-meghatározás és a kitérés intervallum kijelölése stabil, reprodukálható eljárás.

A jól illesztett háttér levonása után elkészíthetõ az úgynevezett integrális (vagy kumulatív) görbe, amely megmutatja, hogy az adott idõpontig hány foton érkezett a kitérésbõl. Ez a görbe igen szemléletes, mivel egyetlen ábrán mutatja a teljes esemény idõbeli fejlõdését. A 2. és 3. ábrán példaként ilyen integrális görbék láthatók.

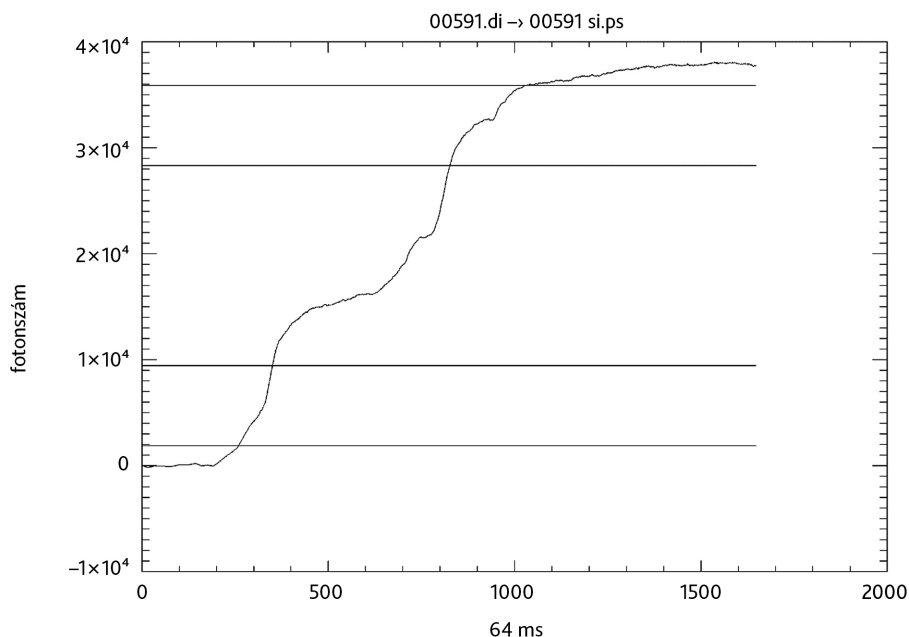


2. ábra: A 00575 számú kitérés integrális „fénygörbéje”. A vízszintes vonalak a teljes energia 5, 25, 75 és 95%-os szintjeit jelölik. Vízszintesen az idő van feltüntetve 64 milliszekundum egységekben

Forrás: a szerző szerkesztése

<sup>10</sup> NORRIS et al. 1997.

<sup>11</sup> VARGA 2005.



3. ábra: A 00591 számú kitörés integrális „fénygörbéje”. A vízszintes vonalak a teljes energia 5, 25, 75 és 95%-os szintjeit jelölik

*Forrás: a szerző szerkesztése*

Az ábrák tanulsága szerint a kitörések kezdete általában jól azonosítható, mivel a fénygörbe meredeken emelkedni kezd. A kitörés vége azonban gyakran bizonytalan, mivel a jel lassan tér vissza a háttérszintre, és sokszor apró utóimpulzusok is megjelennek. Ezt a nehézséget Mazets és munkatársai<sup>12</sup> úgy oldották meg, hogy bevezettek két mennyiséget, amelyekkel a kitörések időtartamát objektív módon lehet jellemezni. Ezek a  $T_{50}$  és a  $T_{90}$  időtartamok. A  $T_{50}$  annak az időintervallumnak felel meg, amely alatt a detektor az összes kitörési foton 25%-ától 75%-áig detektálja a beütéseket. A  $T_{90}$  ezzel szemben a 5% és 95% közöttit jelöli, vagyis a teljes fotonszám 90%-ának beérkezését.

E definíciók nagy előnye, hogy nem igényelnek szubjektív döntést a kitörés „végéről” – az integrális görbe jól meghatározható szintjeihez kötődnek. A kitörés előtti időszakban a kumulatív görbe közel állandó, a Poisson-zaj miatt apró véletlen ingadozásokkal. Ezt a konstans szintet nullának választhatjuk. A kitörés után a görbe stabilizálódik, és az elért plató értéke megfelel a detektor által regisztrált összes, a kitörésből származó foton számának. Az 5% – 95% szintek alapján így pontosan meghatározható, mikor zajlott le a kitörés „fő része”.

A két időtartam közül a  $T_{50}$  általában kisebb hibával határozható meg, mivel a fénygörbe közelebb van a háttérszinthez, nagy jel-zaj arányú szakaszán alapul. Ugyanakkor ez a mutató nem érzékeny a kitörés teljes lefolyására, mert figyelmen kívül hagyja a kezdeti és végső fázisokat. A  $T_{90}$  ezzel szemben a kitörés

<sup>12</sup> MAZETS et al. 1981.

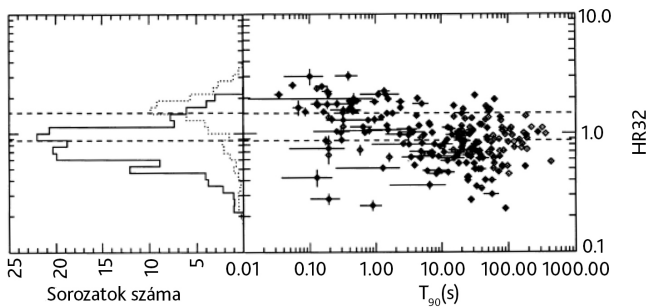
sokkal nagyobb hányadát foglalja magába, így az esemény energetikai karakterét jobban tükrözi. Emiatt a szakirodalomban a  $T_{90}$  időtartamot használják a GRB-k jellemzésére.<sup>13</sup>

Az elemzések tapasztalata szerint a kitörések többségénél a  $T_{90}$  értéke néhány tizedmásodperctől több száz másodpercig terjedhet. A rövid ( $T_{90} < 2$  s) és hosszú ( $T_{90} > 2$  s) kitörések elkülönítése a GRB-k osztályozásának egyik alapja, és a progenitorok (azaz a kiváltó fizikai folyamatok) különbözőségére is utal. Fontos megjegyezni, hogy az időtartam statisztikus eloszlása alapvető információt ad a kitörések természetéről és forrásfizikájáról.

## A gammakitörések spektrális jellemzője

Egyváltozós analízis helyett többen használtak már többváltozós elemzést.<sup>14</sup> Gammatartományban a BATSE-adatbázis elemzését 1998-ban végezték el főkomponens-analízissel.<sup>15</sup> Kilenc megfigyelt változót figyelembe véve kimutatták, hogy kettő komponenssel leírható a megfigyelt adatok szerkezetének 92%-a. Az első főkomponens magyarázni tudja 65%-ban a kilenc változót, míg a második főkomponens újabb 27%-ot magyaráz. Az első két főkomponens összesen 92%-ot magyaráz.<sup>16</sup> A harmadik főkomponensre, amely újabb 5%-ot magyarázna, már nincs szükség a Jolliffe-kritérium<sup>17</sup> alapján (jelen esetben ez 7,8%). Az első főkomponens lényegében az időtartam volt.

A fentiekből két dolog is következik. Először, hogy célszerű egy változó vizsgálata mellett újabb változókat is használni, hogy a megfigyelt adatok szerkezetét jobban felderítsük. Másrészt egy jól megválasztott második változó esetén nincs szükség újabb változókra, hiszen két háttérváltozóval már jól jellemezhetjük a gammakitörés-megfigyeléseket. Már a rövid és hosszú kitöréseket felfedező cikkben közölték Kouveliotou és társai<sup>18</sup> a 4. ábrát, amelyen az úgynevezett spektrális keménység eloszlását ábrázolták.



4. ábra: Kouveliotou et al. 1993 ábrája. Vízszintesen az időtartam, függőlegesen a kitörések spektrumára jellemző HR32 változó

Forrás: KOUVELIOTOU 1993

<sup>13</sup> KOSHUT et al. 1996; TARNOPOLSKI 2016.

<sup>14</sup> RAJANIEMI–MÄHÖNEN 2002; HAKKILA et al. 2004; BORGONOVO 2004; ŘÍPA et al. 2012; KOEN–BERE 2012.

<sup>15</sup> BAGOLY et al. 1998.

<sup>16</sup> BAGOLY et al. 1998.

<sup>17</sup> JOLLIFFE 1972.

<sup>18</sup> KOUVELIOTOU 1993.

A BATSE-műszer nyolc detektora négy energiacsatornába osztályozta a beérkező fotonokat.

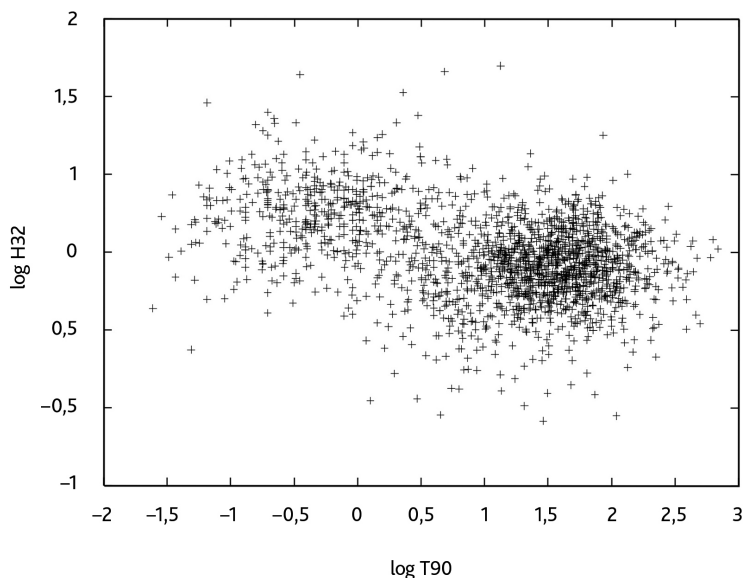
Ezek határai a következők:

1. csatorna 25 keV – 58 keV
2. csatorna 58 keV – 115 keV
3. csatorna 115 keV – 320 keV
4. csatorna 320 keV – 1 MeV.<sup>19</sup>

Alacsony energián sugárzó gammakitörések esetében lényegében csak az első csatornán mértek beütést. Ezeket a kitöréseket lágy kitöréseknek nevezzük. Azon kitörések, amelyek keményebbek, azaz nagyobb energián is van lényeges kibocsátásuk, a magasabb energiacsatornákon is bocsátottak ki jelentős számban fotonokat. Egy tipikus gammakitörés legalább az első három csatornán produkált beütést, jellemzően a második csatornán a legtöbbet. A kemény kitörések relatíve több fotonbeütést okoztak a harmadik és negyedik csatornán, mint a kevésbé kemény gammakitörések.

A spektrális keménységet jól lehet jellemezni a két középső csatorna beütésszámainak hányadosával. Az így definiált HR32 változó van ábrázolva a 4. ábrán. A kitörések jelentős részének spektruma hatványfüggvénnyel jellemezhető, ezekben az esetekben a keménységi hányados arányos a spektrális indexszel.

A végleges BATSE-katalógusban 1956 olyan kitörés van, amely megtalálható mind az időtartam-, mind a fluxtáblázatban. A teljes adatbázist felhasználva nyerhető az 5. ábra, amelyen az említett 1956 kitörés látható az időtartam–keménység síkon. Ennek az adatbázisnak az értelmezésére, valamint az abból levonható következtetések levonására irányul a következő fejezet.



5. ábra: A BATSE által megfigyelt 1956 gammakitörés az időtartam–keménység síkon

Forrás: a szerző szerkesztése

<sup>19</sup> MEEGAN et al. 1996.

## A végleges BATSE-katalógus adatainak elemzése

Az időtartam-változóra előző cikkemben<sup>20</sup> megmutattam, hogy a BATSE-adatok sűrűségfüggvénye jól jellemezhető log-normális eloszlások összegével. Hasonló feltételezéssel élhetünk a keménység HR32 változó esetében. Az alakzat hasonlít két kétdimenziós Gauss-eloszlás összegéhez. E kétdimenziós eloszlást fogom a következőkben megvizsgálni.

A *maximum likelihood* módszert használva a megfigyelt 1956 kitörés adatait kétdimenziós Gauss-eloszlásokkal illeszttem,  $k$  az illesztett eloszlások száma. A kiszámolandó *likelihood* függvény alakja:

$$L = \sum_{i=1}^N \ln \left( \sum_{l=1}^k w_l f_l(x_i, y_i) \right). \quad (1)$$

Az  $f_l$  függvény esetünkben egy kétdimenziós Gauss-eloszlás, öt paraméterrel.  $f$  alakja:

$$f(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y\sqrt{1-r^2}} \cdot \exp \left( -\frac{1}{2(1-r^2)} \left( \frac{(x-a_x)^2}{\sigma_x^2} + \frac{(y-a_y)^2}{\sigma_y^2} - \frac{2r(x-a_x)(y-a_y)}{\sigma_x\sigma_y} \right) \right). \quad (2)$$

Jelen elemzés esetén  $T_{90}$  az  $x$ , HR32 az  $y$  koordináta,  $a_x$  és  $a_y$  a középvértékek, a szigmák a szórások és az  $r$  pedig a korrelációs koefficiens. A (1) egyenletben szereplő  $w_l$  súlyok összege természetesen 1 kell hogy legyen.

Két komponens esetén 11 független paramétert kell illeszteni: négy középvértéket, négy szórást, két korrelációs koefficienst, valamint a két súlyt, amelyekből csak az egyik független.

2006-ban a magyar csoport megvizsgálta,<sup>21</sup> hogy mennyire tér el a megfigyelt eloszlás a kétkomponensű illesztéstől. A kettőt kivonva egymásból a különbségfüggvénynek mindenütt van értéke, de ez nagyrészt véletlen ingadozás. Kérdés, hogy ezen ingadozások mellett, között található-e a fizikai valóságból származó rész.

1. táblázat: Két komponens esetén a csoportparaméterek

$l$	$w_l$	$a_x$	$a_y$	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$r$
1	0,28	-0,233	0,74	0,54	0,26	0,049
2	0,72	1,488	0,40	0,47	0,24	0,128

Forrás: a szerző szerkesztése

<sup>20</sup> HORVÁTH 2025.

<sup>21</sup> HORVÁTH et al. 2006.

Ezek után elvégezték az 1–2 képletek alapján a *maximum likelihood* elemzést. Két komponens esetén a legjobb *likelihood* értéke 1193 volt. Az ezen illesztéshez tartozó paramétereket a 1. táblázat tartalmazza. A  $k = 3$  esetben a legjobb *likelihood* érték 1237 volt. A három komponens illesztett paramétereit a 2. táblázat tartalmazza.

A  $k = 3$  és a  $k = 2$  esetben kapott maximális *likelihoodok* különbsége 44. Esetünkben fennáll a következő összefüggés:

$$2(L_3 - L_2) = \chi_6^2 \quad (3)$$

hiszen a második illesztés esetén 6 új paramétert kellett illeszteni. Ez a különbség 44 a  $\chi_6^2$ -eloszlás esetén extrém kicsiny (kisebb, mint  $10^{-10}$ ) valószínűségnek felel meg.

Abban az esetben, amikor  $k = 4$ , a maximális *likelihood* 1243 volt, a javulás 6. A 3 képlet szerint ez 6,2%-os valószínűségnek felel meg. Ez nem kellően szignifikáns, tehát egy negyedik csoport létezését ez az elemzés nem támasztotta alá.

2. táblázat: Három komponens esetén a csoportparaméterek

l	$w_l$	$a_x$	$a_y$	$\sigma_x$	$\sigma_y$	r
1	0,245	-0,301	0,763	0,525	0,251	0,163
2	0,109	0,637	0,269	0,474	0,344	-0,513
3	0,646	1,565	0,427	0,416	0,210	-0,034

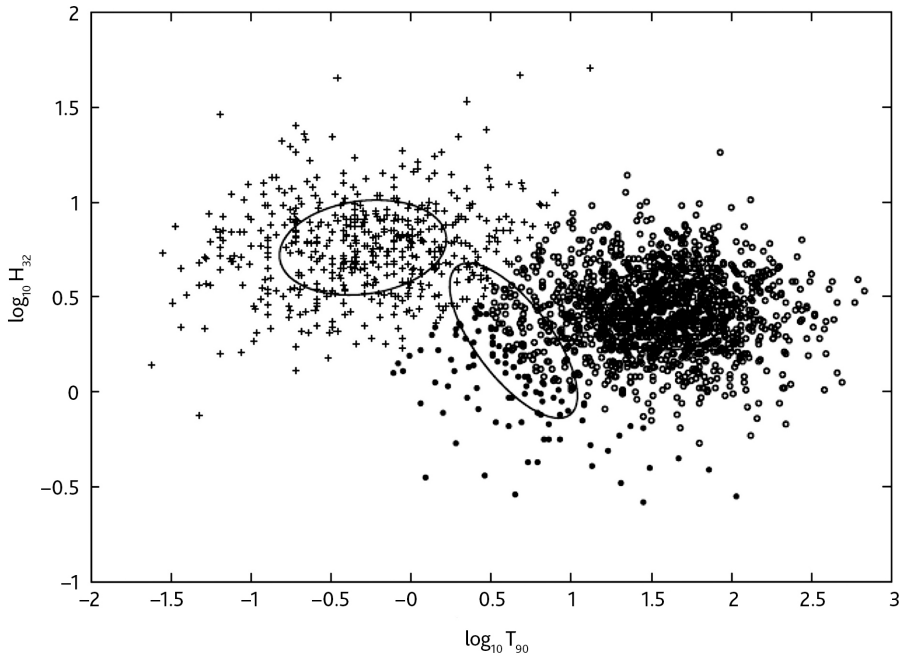
Forrás: a szerző szerkesztése

A *likelihood* jelentős javulása három komponens esetén azt mutatja, hogy az adathalmazból nagy valószínűséggel következik egy harmadik csoport léte (3. táblázat). Négy csoport esetén a *likelihood* nem javul szignifikánsan, tehát negyedik csoportot nem szükséges feltételezni. Az illesztett paramétereket tartalmazza a 2. táblázat, és az illesztett egy szigma-ellipsziseket mutatja a 6. ábra.

3. táblázat: A különböző csoportszámokkal ( $k$ ) való illesztéseknél kapott *likelihood maximumok* és az azokból számolt szignifikanciák

k	$L_{kmax}$	$L_{kmax} - L_{(k-1)max}$	szignifikancia
2	1193		
3	1237	44	$1-10^{-10}$
4	1243	6	0,938

Forrás: a szerző szerkesztése



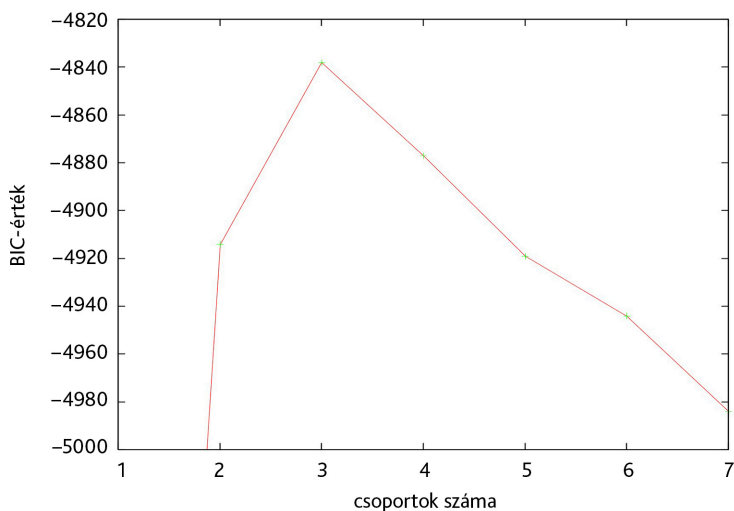
6. ábra: A három csoport (rövid +, hosszú o, közepes ●) az időtartam–keménység síkon  
 Forrás: a szerző szerkesztése

## A kétdimenziós számítások elvégzése T50-adattal számolva

A magyar csoport 2006-ban<sup>22</sup> közölt állításait megvizsgálhatjuk T50-adatokkal is. Az ott használt 1956 BATSE-gammakitörés adataival újra elvégeztem a számításokat a T50 – H32 síkon. Az ott publikáltak a következők: a *likelihood* javulása  $1 \cdot 10^{-10}$ -re szignifikáns két csoportról háromra való áttérésnél. A negyedik csoportot bevezetve a javulás nem szignifikáns. Ugyanez olvasható le a Bayesi Információs Értéket (Bayesian Information Criterion, BIC), mutató 7. ábráról is.

A T50 – H32 síkon elvégezve az elemzést a következőt kaptam: a *likelihood* maximális értéke két 2D Gauss-eloszlást illesztve  $-2497,03$ , míg három esetén  $-2463,58$ . A kettő különbsége  $33,45$ , aminek duplája  $66,9$ , ez hat szabadsági fokú  $\chi^2$  eloszlás esetén minimum  $1 \cdot 10^{-9}$  szignifikanciát jelent. Négy darab 2D Gauss-eloszlás esetén a maximális *likelihood*  $-2459,454$ . Az eltérés a három Gauss-eloszlás illesztésekor kapott maximális *likelihood* értéktől  $4,126$ , ez 22% valószínűségnek felel meg, ami nem szignifikáns.

<sup>22</sup> HORVÁTH 2006.



7. ábra: A Bayesi Információs Értékek (Bayesian Information Criterion, BIC) különböző csoportszámok esetén a T90 – H32 síkon történt illesztéseknél

Forrás: a szerző szerkesztése

4. táblázat: Három komponens esetén a csoportparaméterek a T50 – H32 síkon történt illesztések esetén

csoport	$w_i$	log T50	log H32	r
rövid	0,21	-0,76	0,75	0,16
közepes	0,13	0,12	0,41	-0,40
hosszú	0,66	1,07	0,43	0,015

Megjegyzés:  $w_i$  jelöli, hogy a csoporttagok hányadrészét teszik ki a teljes mintának,  $r$  pedig a korrelációs együtthatót

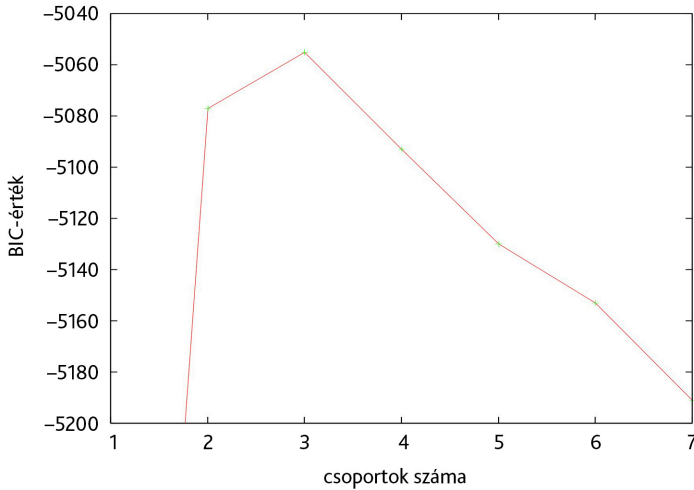
Forrás: a szerző szerkesztése

Tehát a T50 – H32 síkon vett illesztések esetén is, ha Gauss-eloszlásokkal illesztjük a megfigyelt adatok eloszlását, három komponens léte a legvalószínűbb (az illesztett paraméterek becsült értékét a 4. táblázat mutatja). Ezt támasztják alá a BIC-értékek is (8. ábra). A tíznél nagyobb eltérés a BIC-értékben erős evidenciát mutat.

A 4. táblázat adatai szerint az előző fejezet állítása T50 használatával is igazolható. Ugyanis ahogy az a 4. táblázatból látható, a közepes időtartamú gammakitörések spektruma a leglágább, azaz spektrális keménységük a legkisebb, így bár az időtartamuk a két főtípus közötti, a spektrumuk nem.

Az adódott korrelációs koefficiensek (szintén a 4. táblázatban láthatóak) T50 használata esetén is mutatják, hogy a rövid és hosszú időtartamú gammakitörés-csoport esetén minimális

korreláció van csak, míg a közepes időtartamú kitöréscsoport esetén negatív korreláció áll fenn. Ez arra is mutathat, hogy más fizikai folyamat van ezen kitörések hátterében.



8. ábra: A Bayesi Információs Értékek (Bayesian Information Criterion, BIC) különböző csoportszámok esetén a T<sub>50</sub> – H32 síkon történt illesztéseknél

Forrás: a szerző szerkesztése

## Összefoglalás

A jelen tanulmány célja a gammakitörések időtartam- és spektrális jellemzőinek újbóli vizsgálata, különös tekintettel a BATSE-katalógus adataira, valamint a T<sub>50</sub> és T<sub>90</sub> időparaméterek alkalmazhatóságára a csoportosításban. A munka első fejezete áttekintette a GRB-k felfedezésének történetét, fizikai hátterét és osztályozási alapjait, hangsúlyt fektetve arra, hogy a rövid és hosszú kitörések eltérő asztrófizikai eredetűek lehetnek. A vizsgálat kiindulópontja az volt, hogy a CGRO/BATSE-műszer által gyűjtött nagy méretű adathalmaz megbízható alapot nyújthat a statisztikai és fizikai értelmezéshez.

A második fejezet részletesen tárgyalta az időtartam meghatározásának módszertanát. A fotonbeütések időbeli eloszlásának elemzése, a háttérmodellezés és az integrális fénygörbék konstruálása mind elengedhetetlen lépés a GRB-k objektív jellemzéséhez. Kiemeltük a T<sub>50</sub> és T<sub>90</sub> definíciók fizikai értelmezését, valamint azt, hogy a T<sub>90</sub> paraméter használata a nemzetközi gyakorlatban is elfogadott, mivel a kitörés fő szakaszát átfogó módon reprezentálja. A fejezet arra is rámutatott, hogy a háttér szintjének pontos ismerete alapvető a kitörés valódi hosszának és energiájának becsléséhez.

A harmadik fejezet a spektrális jellemzők vizsgálatát mutatta be. A BATSE-detektorok négy energiacsatornában mérték a beérkező fotonokat, így a spektrális keménység (HR32) kiszámítása lehetővé tette a kitörések energiaszerkezetének tanulmányozását. Az időtartam–keménység

diagram ( $T_{90}$ –HR32) segítségével a GRB-k jól elkülöníthető populációkat mutatnak, ami alátámasztja a többféle fizikai eredet hipotézisét. A rövid, kemény és a hosszú, lágy kitörések mellett egy közepes, átmeneti csoport létezését is kimutattam.

A negyedik és ötödik fejezetek statisztikai módszerekkel – elsősorban maximum *likelihood* illesztéssel és Bayes Információs Érték (BIC) számításával – elemezték a megfigyelt eloszlásokat. Az eredmények szerint a kétkomponensű modell nem ad kielégítő leírást, míg a háromkomponensű Gauss-eloszlás szignifikánsan jobb illeszkedést mutatott. Ez megerősíti, hogy a BATSE-adatok alapján a GRB-k három, egymástól jól elkülöníthető csoportba sorolhatók. A negyedik komponens bevezetése nem hozott statisztikailag jelentős javulást, így további csoportok létezése jelen adathalmaz alapján nem valószínűsíthető.

A  $T_{50}$  adatok felhasználásával végzett elemzések megerősítették a  $T_{90}$ -alapú következtetéseket: mindkét időparaméter esetén három stabil csoport jelenik meg. A közepes időtartamú kitörések spektruma a leglágyabb, ami arra utal, hogy e populáció fizikai eredete különbözik a klasszikus rövid és hosszú GRB-től. Az eredmények összhangban vannak korábbi kutatásokkal<sup>23</sup> és tovább erősítik a háromosztályos modell létjogosultságát.

Összességében a dolgozat megerősítette, hogy a gammakitörések időtartam- és spektrális tulajdonságai nem írhatók le egyszerű, kéttípusú rendszerrel. A részletes statisztikai elemzés alátámasztja a közepes időtartamú, spektrálisan lágy GRB-k létezését, ami új megközelítéseket kínál a progenitorok és a kitörési mechanizmusok vizsgálatában. A  $T_{50}$  és  $T_{90}$  paraméterek egymást kiegészítő alkalmazása pedig lehetővé teszi a jövőbeli megfigyelések összehasonlítását, függetlenül a műszeres különbségektől. A jelen kutatás eredményei hozzájárulnak ahhoz, hogy a GRB-k osztályozása, fizikai értelmezése és kozmológiai jelentősége pontosabb, egységesebb képet nyerjen a modern asztrofizikai kutatásokban.

## Felhasznált irodalom

- BAGOLY, Zsolt et al. (1998): Principal Component Analysis of the 3B Gamma Ray Burst Data. *Astrophysical Journal*, 498(1), 342–348. Online: <http://dx.doi.org/10.1086/305530>
- BALÁZS, L. G. et al. (2006): A Possible Interrelation Between the Estimated Luminosity Distances and Internal Extinctions of Type IA Supernovae. *Astronomische Nachrichten*, 327(9), 917–923. Online: <https://doi.org/10.1002/asna.200610649>
- BERGER, Edo (2014): Short-Duration Gamma-Ray Bursts. *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 52, 43–105. Online: <https://doi.org/10.1146/annurev-astro-081913-035926>
- BORGONOVO, Luis (2004): Bimodal Distribution of the Autocorrelation Function in Gamma-Ray Bursts. *Astronomy and Astrophysics*, 418(2), 487–493. Online: <https://doi.org/10.1051/0004-6361:20034567>
- GIOVANNELLI, Franco (2025): Gamma-Ray Bursts: The Energy Monsters of the Universe. *Galaxies*, 13(2). Online: <https://doi.org/10.3390/galaxies13020016>
- HAKKILA, J. et al. (2004): Subgroups of Gamma-Ray Bursts. *Baltic Astronomy*, 13, 211–216. Online: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2004BaltA..13..211H/abstract>
- HAKKILA, J. et al. (2018): Properties of Short Gamma-ray Burst Pulses from a BATSE TTE GRB Pulse Catalog. *The Astrophysical Journal*, 855(2). Online: <https://doi.org/10.3847/1538-4357/aaac2b>

<sup>23</sup> HORVÁTH 1998; HORVÁTH 2002; MÉSZÁROS et al. 2006.

- HORVÁTH, István (1998): A Third Class of Gamma-Ray Bursts? *The Astrophysical Journal*, 508(2), 757–759. Online: <https://www.doi.org/10.1086/306416>
- HORVÁTH, István (2002): A Further Study of the BATSE Gamma-Ray Bursts Duration Distribution. *Astronomy & Astrophysics*, 392(3), 791–793. Online: <https://www.doi.org/10.1051/0004-6361:20020808>
- HORVÁTH István (2025): A gammakitöréshosszúság-adatok vizsgálatának ellenőrzése a CGRO T50 időtartamok használatával. *Műszaki Katonai Közlöny*, 35(2), 97–106. Online: <https://doi.org/10.32562/mkk.2025.2.7>
- HORVÁTH, István et al. (2006): A New Definition of the Intermediate Group of Gamma-Ray Bursts. *Astronomy and Astrophysics*, 447(1), 23–30. Online: <https://doi.org/10.1051/0004-6361:20041129>
- HORVÁTH, István et al. (2019): Multidimensional Analysis of Fermi GBM Gamma-Ray Bursts. *Astrophysics and Space Science*, 364(6). Online: <https://doi.org/10.1007/s10509-019-3585-1>
- JOLLIFFE, Ian T. (1972): Discarding Variables in a Principal Component Analysis. I. Artificial Data. *Applied Statistics*, 21(2), 160–173. Online: <https://doi.org/10.2307/2346488>
- KLEBESADEL, Ray W. – STRONG, Ian B. – OLSON, Roy A. (1973): Observations of Gamma-Ray Bursts of Cosmic Origin. *The Astrophysical Journal*, 182, L85–L88. Online: <https://doi.org/10.1086/181225>
- KOEN, Chris – BERE, A. (2012): On Multiple Classes of Gamma-Ray Bursts, as Deduced from Autocorrelation Functions or Bivariate Duration/Hardness Ratio Distributions. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 420(1), 405–415. Online: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2966.2011.20045.x>
- KOSHUT, Thomas M. et al. (1996): Systematic Effects on Duration Measurements of Gamma-Ray Bursts. *Astrophysical Journal*, 463(2), 570–579. Online: <https://doi.org/10.1086/177272>
- KOUVELIOTOU, Chryssa et al. (1993): Identification of Two Classes of Gamma-Ray Bursts. *Astrophysical Journal Letters*, 413(2), L101–L104. Online: <https://doi.org/10.1086/186969>
- MAZETS, Evgenii Pavlovich et al. (1981): Catalog of Cosmic Gamma-Ray Bursts from the KONUS Experiment Data. I. *Astrophysics and Space Science*, 80(1), 3–83. Online: <https://doi.org/10.1007/BF00649140>
- MEEGAN, Charles A. et al. (1992): Spatial Distribution of Gamma-Ray Bursts Observed by BATSE. *Nature*, 355, 143–145. Online: <https://doi.org/10.1038/355143a0>
- MEEGAN, Charles A. et al. (1996): The Third BATSE Gamma-ray Burst Catalog. *The Astrophysical Journal Supplement*, 106, 65–110. Online: <https://doi.org/10.1086/192329>
- MÉSZÁROS, Attila et al. (2006): Redshift Distribution of Gamma-Ray Bursts and Star Formation Rate. *Astronomy & Astrophysics*, 455(3), 785–790. Online: <https://doi.org/10.1051/0004-6361:20053807>
- NORRIS, J. P. et al. (1997): Attributes of Pulses in Long Bright Gamma-Ray Bursts. *The Astrophysical Journal*, 459(1), 393–412. Online: <https://doi.org/10.1086/176902>
- PÉREZ-RAMÍREZ, D. et al. (2010): Detection of the High-z GRB 080913 and Its Implications on Progenitors and Energy Extraction Mechanisms. *Astronomy and Astrophysics*, 510. Online: <https://doi.org/10.1051/0004-6361/200811151>
- PIRAN, Tsvi (2005): *The Physics of Gamma-Ray Bursts. Reviews of Modern Physics*, 76(4), 1143–1210. Online: <https://doi.org/10.1103/RevModPhys.76.1143>
- RAJANIEMI, H. J. – MÄHÖNEN, P. (2002): Classifying Gamma-Ray Bursts using Self-organizing Maps. *The Astrophysical Journal*, 566(1), 202–209. Online: <https://doi.org/10.1086/337959>
- ŘÍPA, Jakub et al. (2012): On the Spectral Lags and Peak Counts of the Gamma-Ray Bursts Detected by the RHESSI Satellite. *The Astrophysical Journal*, 756(1), 44. Online: <https://doi.org/10.1088/0004-637X/756/1/44>
- TARNOPOLSKI, Mariusz (2016): Analysis of the Observed and Intrinsic Durations of Swift/BAT Gamma-Ray Bursts. *New Astronomy*, 46, 54–59. Online: <https://doi.org/10.1016/j.newast.2015.12.006>
- VARGA Balázs (2005): *Gammakitörések vizsgálata*. Diplomamunka. ELTE TTK.
- ZHANG, Bing (2018): *The Physics of Gamma-Ray Bursts*. Cambridge: Cambridge University Press. Online: <https://doi.org/10.1017/9781139226530>