

Horváth István¹ 

A gammakitöréshosszúság-adatok vizsgálatainak ellenőrzése a CGRO T50 időtartamok használatával

Verifying Gamma-Ray Burst Duration Analysis Using Compton Gamma-Ray Observatory T50 Data

A szakirodalomban többen megmutatták, hogy a Compton Gamma-Ray Observatory adataiban kimutatható egy harmadik típusú gammakitörési osztály. Jelen cikkben megvizsgálom, hogy a Compton Gamma-Ray Observatory Burst And Transient Source Experiment mérési adataiban szereplő T50 változó adataiban is fellelhető-e ez a tendencia. Számításaim szerint a T90-ben kimutatott harmadik csoport kimutatható a T50-adatokban is.

Kulcsszavak: gammakitörés, gammasugárzás, műholdak, statisztikus elemzés

Several authors have shown in the literature that a third type of gamma-ray burst class can be detected in the Compton Gamma-Ray Observatory data. In this paper, I examine whether this can also be found in the T50 variable data from the Compton Gamma-Ray Observatory Burst And Transient Source Experiment observation. According to my calculations, the third group detected in T90 can also be detected in the T50 data.

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

Bevezetés

A gammakitörések múlt századi felfedezése óta sok műholdon helyeztek el gammadetektorokat a kitörések megfigyelésére. Az egyik erre a célra készített műhold a Compton Gamma-Ray

¹ Egyetemi tanár, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Természettudományi tanszék, e-mail: horvath.istvan@uni-nke.hu

Observatory. Fedélzetén több műszer kapott helyet, amelyek egyike a Burst And Transient Source Experiment volt. A Burst And Transient Source Experiment műszer közel tízéves működése során több mint 2000 gammakitörést figyelt meg. Időtartamuk szerint az egyes felvillanások két csoportba sorolhatók.² Az egyik típus a rövid kitörés, a másik típus a két másodpercnél is tovább tartó kitöréseké.

A gammakitörések időtartamának meghatározása

A gammakitörések időtartamának definiálása nem könnyű feladat, ugyanis az egyes fotonokról nem tudhatjuk, hogy milyen irányból érkeztek, mert a Burst And Transient Source Experiment detektorai nem tudtak irányt mérni, vagyis a háttérfotonok és a forrásból érkező fotonok megkülönböztethetetlenek. A fotonbeérkezéseket leszámoljuk, majd időrekeszekbe soroljuk ezeket, azaz választott időegység alatt megszámláljuk a beérkező fotonokat. Ez adja a gammakitörés nagy energiás időbeli eloszlását.

Ebből az eljárásból adódóan az időt a rekeszhossz többszöröseként tudjuk mérni. Ha rendelkezésre áll jobb időfelbontású adatsor, akkor természetesen a kumulatív görbe előállítható finomabb felbontással is.

A gammakitörés kezdete általában azonosítható, de a kitörés végét nehezebb meghatározni. Az integrális fénygörbe kezdeti és végső szintje már jobban megadható. Ha a háttér a kitörés után is jól illeszthető, akkor az integrális görbe jobb oldala is határozott érték körül ingadozik. Ez az érték a kitörésből származó összes foton száma, amelyet a detektor rögzített.

E számnak a huszadával elmetszve az integrális görbét megkapjuk azt az időpontot, amikor a detektor az összes, a kitörésből érkező foton 5%-át regisztrálta. Hasonlóan meghatározható, hogy mikor volt az az időpont, amikor az összfotoszám 95%-a beérkezett. E két idő különbségét nevezik T90-nek. A T50 értékét értelemszerűen a 25%-nak és a 75%-nak megfelelő idők határozzák meg. Az 1996-ban Kouveliotou és társai³ által közölt ábrán két Gauss-görbés illesztés látszik (1. ábra).

A harmadik Burst And Transient Source Experiment-katalógust 1996-ban tették közzé,⁴ és az adatok szinte azonnal elérhetővé váltak az interneten. A Burst And Transient Source Experiment-katalógusok több szekcióból épülnek fel, amelyek közül három részletes táblázat az interneten azóta is elérhető.⁵

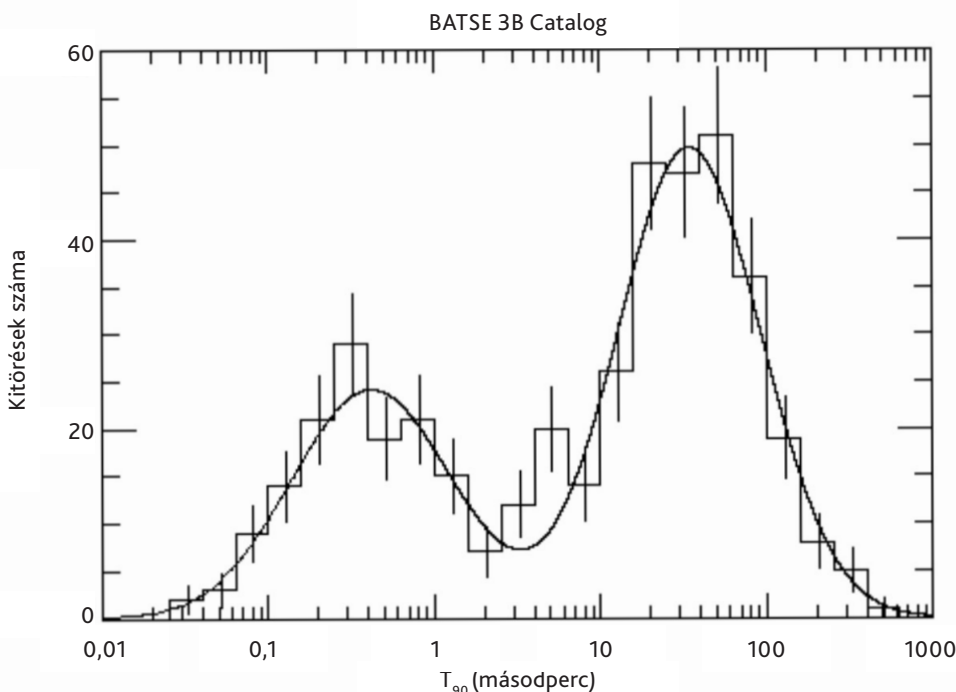
A „Basic” táblázat alapvető információkat tartalmaz, például a katalógusszámot vagy a megfigyelés dátumát és pontos idejét. A „Flux and Fluence” táblázatban az azonosítószám mellett a fluenciaérték is szerepel, amely azt mutatja meg, hogy a teljes kitörés során mekkora energia érkezett be az adott frekvenciatartományban. Ez lényegében a fénygörbe integrálja. A peak flux, magyarul csúcshévísség a fénygörbe legnagyobb értékét jelöli.

² NORRIS 1984; KOUVELIOTOU 1993.

³ KOUVELIOTOU 1996.

⁴ MEEGAN 1996.

⁵ MALLOZZI 2018.



1. ábra: A Burst And Transient Source Experiment 3B katalógus kítöréseinek időtartam-gyakorisága

Forrás: KOUVELIOTOU 1996

A Burst And Transient Source Experiment 3B katalógus összesen 1122 gammakitörést tartalmazott. Az időtartam-táblázat 834 kítörés adatait foglalta magában. Ezeket elemeztem egy régebben publikált cikkemben.⁶ Az időtartam-eloszlás több csúcsot is mutat. Elkülönül a hosszú és a rövid kítörések csoportja. További osztályok létezését is megvizsgáltam az említett cikkben. A vizsgálatok során a χ^2 -próbát alkalmaztam, ahol a χ^2 következő módon számolandó:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^N \frac{(f_i - f(x_i))^2}{\sigma_i^2}$$

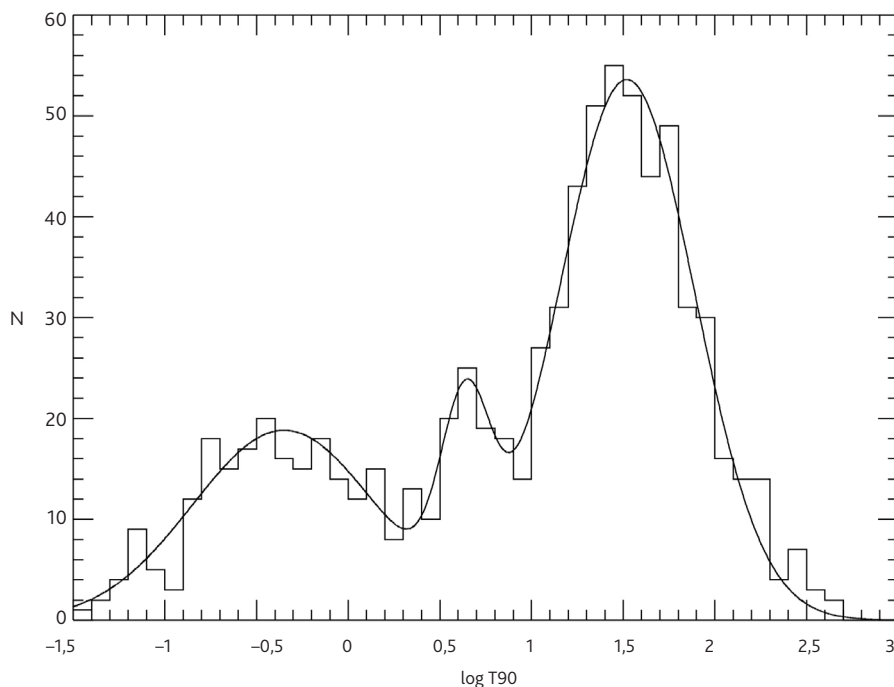
Itt f_i az illesztett függvény, $f(x_i)$ jelenti a mérési eredményeket és σ_i a hiba.

Ha egy változó eloszlása több nagyságrendet lefed, akkor rendszerint a változó logaritmusát használjuk az illesztés során. A gammakitörések időtartamának logaritmikus eloszlását Gauss-görbékkel modellezhetjük. Annak eldöntésére, hogy szükség van-e további komponens bevezetésére, a következő módszert alkalmaztam. A teljes eloszlásra olyan elméleti görbét illesztettem, amely három Gauss-görbe összegéből áll (2. ábra). Az így kapott illesztés χ^2 értéke

⁶ HORVÁTH 1998.

24,0 lett. Ezt az eredményt a korábban, két Gauss-görbe összegével végzett illesztés legjobb χ^2 értékével (46,8) kell összehasonlítani.

A két illesztés közötti χ^2 -különbség $46,8 - 24,0 = 22,8$, ez meghatározza a valószínűséget. Mivel a három Gauss-görbét tartalmazó modell három további paramétert is bevezet, az ehhez tartozó valószínűség három szabadsági fokú χ^2 -eloszlást követ. Ebben az esetben a 22,8-hoz tartozó valószínűség rendkívül alacsony, mindössze 10^{-4} . Ez azt jelenti, hogy a megfigyelt eloszlás véletlenszerű kialakulásának esélye rendkívül csekély.



2. ábra: A háromkomponensű illesztés a T90 időtartameloszlásra

Forrás: HORVÁTH 1998

Az 1. táblázat tartalmazza a legjobb illesztés paramétereit. Az adatok alapján az úgynevezett hosszú gammakitörések átlagos T90 időtartama megközelítőleg 33 másodperc. Az illesztési eredmények szerint a megfigyelt gammakitörések 62%-a ebbe a kategóriába tartozik.

A rövid kitörések esetében az átlagos T90 időtartam körülbelül fél másodperc, és a Burst And Transient Source Experiment által detektált gammakitörések nagyjából egyharmada sorolható ebbe a csoportba. Az időtartamok eloszlására végzett illesztések alapján a 2–8 másodperc közötti gammakitörések jelentős része egy harmadik kategóriába eshet. Mivel ezek az események hosszabbak, mint 1–2 másodperc, de nem érik el a 10–50 másodperces időtartományt, indokoltnak tűnik a közepes típusú gammakitörések megnevezés alkalmazása.

1. táblázat: A három csoport paraméterei

	Középérték (lgT90)	a lgT90 szórása	a tagok száma	részarány %-ban	tipikus időtartam T90-ben
rövid	-0,35	0,50	236	30	<2 mp
hosszú	1,52	0,37	497	62	>8 mp
közepes	0,64	0,14	61	8	~2–8 mp

Forrás: a szerző szerkesztése

A végleges Burst And Transient Source Experiment katalógus adatainak elemzése

A Compton műhold 2000-ben befejezte működését. A Burst And Transient Source Experiment 2704 gammakitörést rögzített. A megfigyelt adatokat a Burst And Transient Source Experiment végleges katalógusában lehet elérni az interneten.⁷ Az időtartam-táblázatban 1929 kitörésre található adat. 2002-ben ennek az 1929 kitörésnek az adatát vizsgáltam meg.⁸ Ehhez az elemzéshez a *maximum likelihood* módszert használtam. Így minden adat önmagában szerepel az elemzés során.

A maximum likelihood módszer lényege, hogy az a paraméter valódi értékét azzal az a értékkel becsüljük, amely ha a paraméter valódi értéke volna, akkor éppen az adott minta bekövetkezése volna a legvalószínűbb az összes lehetséges minta közül.

Ha adott az $x_1, x_2, \dots, x_n$ n-elemű mérési minta egy változóra, amelynek sűrűségfüggvénye

$$f = f(x, a)$$

és a mérési eredményekből az a értéket akarjuk becsülni, akkor az

$$l(x_1, x_2, \dots, x_n, a) = f(x_1, a) f(x_2, a) \dots f(x_n, a)$$

függvényt likelihoodfüggvénynek nevezzük.

⁷ The Current BATSE Burst Catalog [é. n.].

⁸ HORVÁTH 2002.

A maximum likelihood módszer, hogy az a paraméter becslésére azt az értéket választjuk, ahol a likelihoodfüggvény értéke maximális. Az aszimptotikusan normális eloszlású becslések közül a maximum likelihood becslés a legjobb becslés.⁹

A Burst And Transient Source Experiment végleges katalógusa fent említett 1929 adatának az elemzésénél az egy Gauss-görbés illesztés, hasonlóan az előzőekhez, nem adott egyezést. Két Gauss-görbét illesztve 5 illesztendő paraméter volt. Egy Gauss-görbét 3 paraméterrel írhatunk le; az eloszlás maximumhelye, szórása és súlya. Következésképpen két Gauss-görbe esetén 6 illesztendő paraméterünk van, de van egy feltétel is az amplitúdók összegére. Az amplitúdók összege vagy N (az észlelt objektumok száma), vagy ha a megtalálási valószínűség az illesztett függvény, akkor a teljes integrál értéke 1. Tehát az előbb említett feltétel akkor elégíthető ki, ha az illesztés során használt súly együtthatók összege 1.

Két Gauss-görbe illesztése esetén az L maximális értéke 12 320,11, három Gauss-görbe illesztése esetén az L maximális értéke 12 326,25. A likelihood maximális értékének javulása várható, hiszen több paraméterrel írjuk le az illesztett elméleti görbét. Jelen esetben 3-mal nőtt a paraméterek száma. Ez esetben az L értékek különbségének a kétszerese 3 szabadsági fokú χ^2 -eloszlást követ.¹⁰

Az ezen

$$2(L_3 - L_2) = \chi^2_3$$

képlet alapján számított valószínűség 0,5%.

A 2. táblázatban és a 3. táblázatban az illesztésekből kapott paraméterek találhatók. A szignifikanciát Monte Carlo-módszerrel ellenőriztem.

2. táblázat: A rövid és hosszú csoportok paraméterei

csoportok	középpont lgT90	szórás	súly
rövid	-0,11	0,61	0,32
hosszú	1,54	0,43	0,68

Forrás: a szerző szerkesztése

3. táblázat: A három csoport paraméterei

csoportok	középpont lgT90	szórás	súly
rövid	-0,25	0,53	0,26
közepes	0,63	0,20	0,06
hosszú	1,55	0,42	0,68

Forrás: a szerző szerkesztése

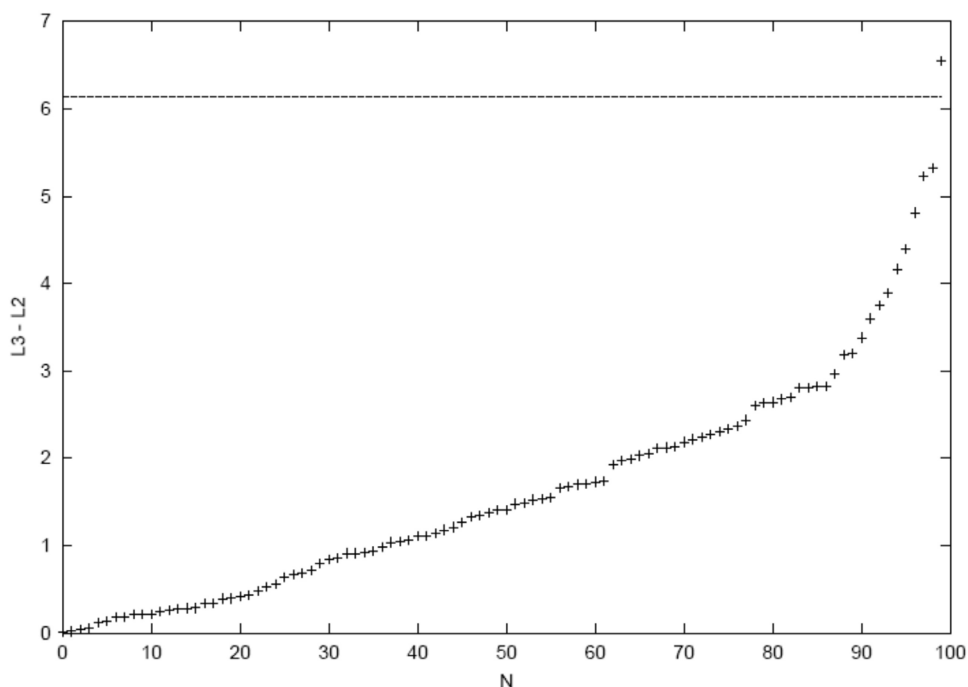
⁹ BRONSTEIN-SZEMENGYAJEV 1980; PAÁL 1992.

¹⁰ KENDALL-STUART 1976.

A 2. táblázat adataival mint sűrűségfüggvénnyel véletlenszerűen választottam 1929 számot. Ezen számokra elvégeztem a kétkomponens- és a háromkomponens-illesztést. Természetesen három komponens esetén a likelihood értéke magasabb lett. Ezt az eljárást elvégeztem még 99-szer (99×1929 véletlen számmal). A száz likelihood különbségeloszlását mutatja a 3. ábra.

Az eljárás során feltételeztem, hogy egy kétkomponensű mintából választok 1929 pontot. Feltételezve, hogy nincs harmadik komponens, a Monte Carlo-eljárással azt vizsgálom, hogy milyen eséllyel kaphatok a mérésnél tapasztalt likelihoodjavulást (6,14). Ez száz esetből egyszer történt meg, ami megerősíti a 3 szabadsági fokú χ^2 -eloszlást használva kapott 0,5% valószínűséget.

Hogy a harmadik populáció nem véletlen fluktuáció eredménye, azt az is alátámasztja, hogy a száz esetből szintén csak egyszer fordult elő, hogy a mérésnél kapott 6%-nál nagyobb lett a csoport mérete. Az átlagos csoportméret a Monte Carlo-szimuláció során 2,5% volt.



3. ábra: A Monte Carlo-szimulált likelihoodkülönbségek növekvő sorrendbe rendezett eloszlása (a szaggatott vonallal jelzett 6,14-es érték az elemzésben kapott likelihoodjavulás; a Monte Carlo-szimulációkból ezt az értéket csak egy haladta meg)

Forrás: HORVÁTH 2002

Vizsgálatok a T50-adatok felhasználásával

Először a teljes Burst And Transient Source Experiment-katalógus 1929 kitörésének a T90-adatán ismételttem meg a számításokat maximum likelihood módszerrel. Az eredmény teljes mértékben megegyezett az irodalomban közöltekkel. Két csoportot feltételezve a likelihood

maximuma 12 320,11, három Gauss-komponenst feltételezve 12 326,25 volt. A különbség 6,14, amely 99,5%-os szignifikanciának felel meg. A legjobban illeszkedő paraméterek is azonosak voltak az irodalomban előzőleg közöltekkel.

Az 1929 darab T50-adattal is elvégeztem a számításokat. Két csoportot feltételezve a likelihood maximuma 12 216,14, három Gauss-komponenst feltételezve 12 221,61 volt. A különbség 5,47, amely 98,8%-os szignifikanciának felel meg.

1998-ban a Burst And Transient Source Experiment 3B katalógus 797 kitörésének T90-eloszlásában mutattam ki a harmadik komponenst 99,98% szignifikanciával.¹¹ Itt jegyzem meg, hogy ugyanezen 797 gammakitörés adatait használva egy másik csoport ezzel egy időben mutatta ki a harmadik komponens létét.¹² Tizennégy oldalas, részletes cikkükben a két keménységi hányados, a csúcshányados és a teljes fluxus mellett nemcsak T90-et, hanem T50-et is használtak, nem külön-külön, hanem egyszerre mind a hat változót. E hatdimenziós térben három csoportot találtak. Eredményük időtartamtengelyre vett vetülete nagy fokú egyezést mutatott az általam előzőleg közölt eredménnyel.

A 797 gammakitörés T90- és T50-adatai eloszlásának illesztését most újra elvégeztem. Az illesztést maximum likelihood módszerrel végeztem. T90 esetén két csoportot feltételezve a likelihood maximuma 4364,52, három Gauss-komponenst feltételezve 4375,12 volt. A különbség 10,6, amely 99,99%-os szignifikanciának felel meg. A csoportparamétereket a 4. táblázat tartalmazza.

4. táblázat: Három komponens és T90 esetén a kapott csoportparaméterek (q_i a csoport súlyaránya)

csoport	q_i	log T90	szórás
rövid	0,28	-0,35	0,49
közepes	0,07	0,61	0,14
hosszú	0,65	1,53	0,40

Forrás: a szerző szerkesztése

T50 esetén két csoportot feltételezve a likelihood maximuma 4341,6, három Gauss-komponenst feltételezve 4354,5 volt. A különbség 12,9, amely 99,999%-os szignifikanciának felel meg. Tehát a T50-értékek még nagyobb szignifikanciával mutatják a harmadik csoport létét. A kapott csoportparamétereket az 5. táblázat tartalmazza.

5. táblázat: Három komponens és T50 esetén a csoportparaméterek (q_i a csoport részaránya a megfigyelt összes gammakitörésből)

csoport	q_i	log T50	szórás
rövid	0,27	-0,76	0,45
közepes	0,05	0,22	0,09
hosszú	0,68	1,05	0,50

Forrás: a szerző szerkesztése

¹¹ HORVÁTH 1998.

¹² MUKHERJEE 1998.

A két táblázatot összehasonlítva láthatjuk, hogy a két elemzés lényegében ugyanazt az eredményt adja. Ez által most kimutattam azt, hogy a Burst And Transient Source Experiment T50-adatai is igazolják a harmadik gammakitörés-csoport létét.

Összefoglalás

A gammakitörések forrásainak a pontos ismeretét jól segíti osztályozásuk. Elterjedt nézet, hogy kétfajta forrása lehet a kitöréseknek. A hosszú kitörések a nagy tömegű gyorsan forgó csillagok végállapotával lehetnek kapcsolatban, a rövid kitörések a kompakt kettősök összeolvadása révén keletkezhetnek. Az ismert két típustól különböző gammakitörés-fajtát többen is megpróbáltak azonosítani.¹³ A közepesen hosszú lehetséges gammakitörés-csoportnak kiterjedt irodalma van.¹⁴

Korábbi munkáimban megvizsgáltam a Burst And Transient Source Experiment 3B katalógus 797 gammakitörés-időtartamának eloszlását. Megmutattam, hogy a háromkomponensű eloszlás szignifikáns javulás a kétkomponensűhöz képest. Majd elemeztem a végleges Burst And Transient Source Experiment-katalógust is. A katalógusban szereplő 1929 gammakitörés időtartameloszlását megvizsgáltam, és megmutattam, hogy a háromkomponensű eloszlás szignifikáns javulás a kétkomponensűhöz képest.

Jelen cikkemben mind a 3B mind a végleges Burst And Transient Source Experiment-katalógus T50-adatait elemeztem. Hasonlóan a T90-nel kapcsolatos vizsgálatokhoz itt is sikerült kimutatnom, hogy a T50-adatok is igazolják a harmadik gammakitörés-csoport létezését.

Felhasznált irodalom

- BALASTEGUI, Andreu – RUIZ-LAPUENTE, Pilar – CANAL, Ramon (2001): Reclassification of Gamma-Ray Bursts. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 328(1), 283–290. Online: <https://www.academic.oup.com/mnras/article/328/1/283/989202>
- BRONSTEIN, I. N. – SZEMENGAJEV, K. A. (1980): *Справочник по математике*. Москва: Наука.
- 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 et al. (2020): The Clustering of Gamma-Ray Bursts in the Hercules-Corona Borealis Great Wall: The Largest Structure in the Universe? *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 498(2), 2544–2553. Online: <https://www.ui.adsabs.harvard.edu/abs/2020MNRAS.498.2544H/abstract>
- KENDALL, Maurice – STUART, Alan (1976): *The Advanced Theory of Statistics*. London: Griffin.
- KOUVELIOTOU, Chryssa et al. (1993): Identification of Two Classes of Gamma-Ray Bursts. *Astrophysical Journal Letters*, 413(2), L101–L104. Online: <https://www.doi.org/10.1086/186969>
- KOUVELIOTOU, Chryssa et al. (1996): Correlations between Duration, Hardness and Intensity in GRBs. *AIP Conference Proceedings*, 384(1), 42–46. Online: <https://www.doi.org/10.1063/1.51695>

¹³ PENDLETON 1997.

¹⁴ BALASTEGUI–RUIZ-LAPUENTE–CANAL 2001; HORVÁTH 2002; MÉSZÁROS 2006; HORVÁTH 2009; ZITOUNI 2015; TARNOPOLSKI 2016; HORVÁTH 2020.

- 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 A. 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>
- MUKHERJEE, Soma et al. (1998): Three Types of Gamma-Ray Bursts. *The Astrophysical Journal*, 508(1), 314–327. Online: <https://doi.org/10.1086/306386>
- NORRIS, J. P. et al. (1984): Frequency of Fast, Narrow γ -Ray Bursts. *Nature*, 308, 434–435. Online: <https://doi.org/10.1038/308434a0>
- PAÁL G. – HORVÁTH I. – LUKÁCS B. (1992): Inflation and Compactification from Galaxy Redshifts? *Astrophysics and Space Science*, 191(1), 107–124. Online: <https://doi.org/10.1007/BF00644200>
- PENDLETON, G. N. et al. (1997): The Identification of Two Different Spectral Types of Pulses in Gamma-Ray Bursts. *The Astrophysical Journal*, 489(1), 175–198. Online: <https://doi.org/10.1086/304763>
- 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>
- ZITOUNI, H. et al. (2015): Statistical Study of Observed and Intrinsic Durations Among BATSE and Swift/BAT GRBs. *Astrophysics and Space Science*, 357(1), 7. Online: <https://doi.org/10.1007/s10509-015-2311-x>

Internetes források

- The Current BATSE Burst Catalog [é. n.]. Online: http://www.heasarc.gsfc.nasa.gov/docs/cgro/batse/BATSE_Ctlg/index.html
- MALLOZZI, Robert S. (2018): BATSE. Gamma-Ray Astrophysics at the NSSTC, 2018. augusztus 28. Online: <https://www.gammaray.msfc.nasa.gov/batse/grb/catalog/>