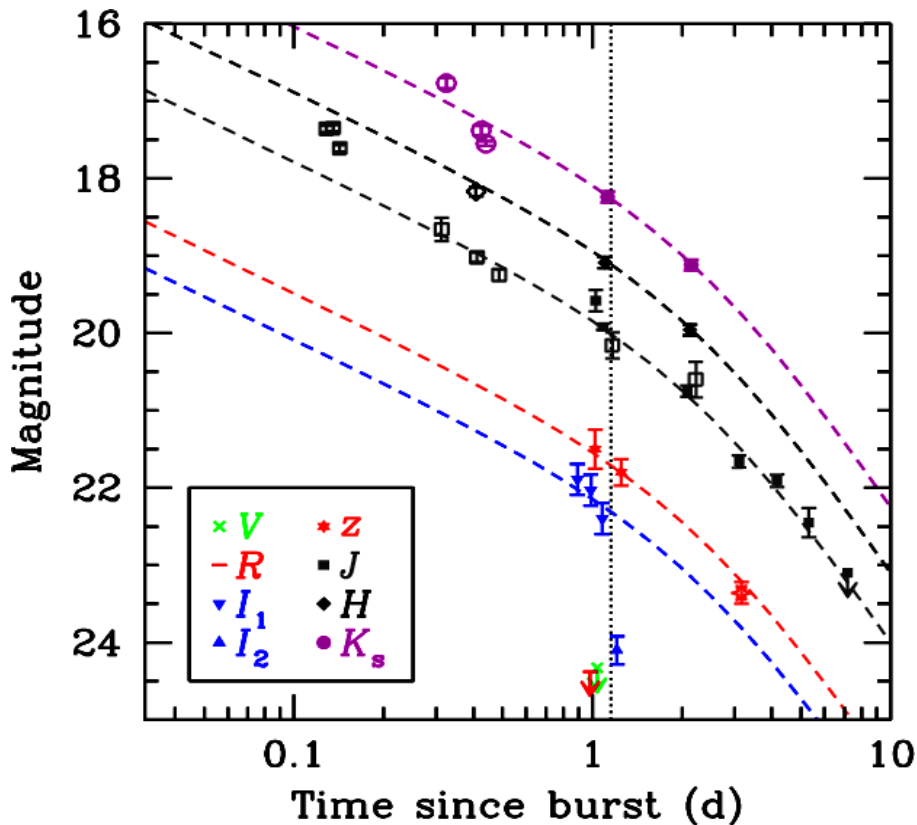


Horváth István az MTA Doktora cím elnyeréséhez benyújtott Gammakitörések című értekezésével kapcsolatos kérdéseire

1. Szabó Gyula első kérdése:

Az 5.1.11. ábrával (Tagliaferri et al., 2015 munkájának bemutatásával) kapcsolatban hiányolom az I1 és I2 jelölések feloldását. Az utófényre a V és R tartományban limiteket közölnek az idézett szerzők, 2 magnitúdó körüli R-I színindexszel. Ez vajon mennyire informatív, tehát például I1=22,2 magnitúdó esetén az R fényességet milyen tartományban várnánk, 1 napos utófény esetén?



1.1. ábra. Dolgozatom 5.1.11. ábrája, mely Tagliaferri et al., 2015 cikkében a 2. ábra, melyen a GRB050904 jelű gammakitörés utófényének a fényessége van ábrázolva különböző sávokban mérve.

Válaszom:

Az 5.1.11. ábra Tagliaferri et al., 2015 cikkében közölt 2. ábra, dolgozatomban illusztráció volt arra az akromatikus törésre a megfigyelt fénygörbében (itt 1.1. ábra), melyet az irodalomban a nyalábolt sugárzás bizonyítékának tekintenek. A J, H, K stb. jelölések a standard színszűrőkkel megfigyelt magnitúdókat jelöli. Például az I, R és V tartományok közepe 806, 658 és 551 nm, félérték-szélességük 149, 138 és 88 nm (lásd pl. Tóth, L. V., 2013). A Tagliaferri et al., 2015 cikkben látható ábrán használt I1 és I2 tartományok közepe viszont 850 és 768 nm [Tagliaferri, G., et al., 2015].

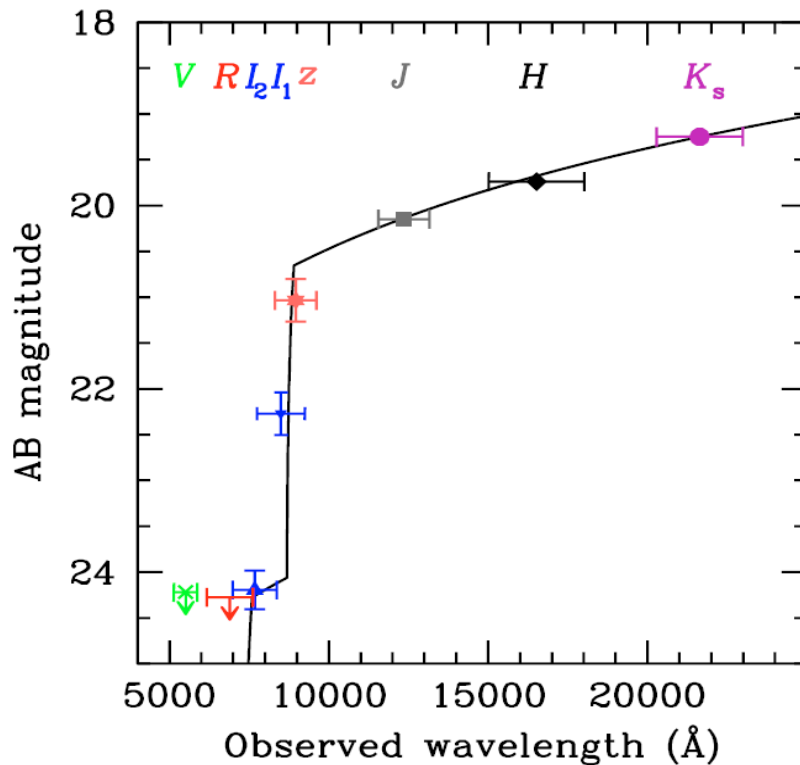
A gammakitörések utófényeinek a megfigyeléséből tudjuk, hogy az R-I színindex, amennyiben nincs jelentős vörösödés, körülbelül 0,6 magnitúdó. Néhány példát mutat az irodalomból az 1. táblázat.

1. táblázat. Gammakitörések utófényeinek megfigyelt R-I színindexe.

gammakitörés	mért R-I színindex	hivatkozás
GRB 990510	0,6 magnitúdó	Stanek, K. Z., et al., 1999
GRB 990510	0,6 magnitúdó	Pian, E., et al., 2001
GRB 000926	0,6 magnitúdó	Price, P. A., et al., 2001
GRB 010222	0,6 magnitúdó	Sagar, R., et al., 2001
GRB 021004	0,5 magnitúdó	Pandey, S. B., et al., 2003
GRB 030226	0,6 magnitúdó	Pandey, S. B., et al., 2004
GRB 030329	0,5 magnitúdó	Burenin, R. A., et al., 2003
GRB 080319B	0,4 magnitúdó	Bloom, J. S., et al., 2009

Tehát a vörösödés nélküli színindex kb. 0,6 magnitúdó. Ez alapján a kérdés második részére a válaszom, hogy $I_1=22,2$ magnitúdó esetén az R fényességet kb. 23,0 magnitúdónak várjuk. Az R-I a fenti mérések alapján nagyjából 0,6 magnitúdó, de a Tagliaferri et al., 2015 cikkében használt I_1 sávban kb. 0,2 magnitúdóval fényesebb az utófény mint a standard irodalomban használt I sávbeli fényesség, mert a sávközepek 850 (I_1) és 806 (I) nm, azaz e kettő között további 0,2 magnitúdó fényességkülönbség várható. Tehát $I_1=22,2$ magnitúdó esetén az I értéke kb. 22,4 magnitúdó és így az R értékét kb. 23,0 magnitúdónak várhatjuk.

Ez fontos információ, mert a várható 23,0 magnitúdó helyett az R értéke (ez cikkük fő mondanivalója) több mint egy magnitúdóval nagyobb (lásd az 1.2. ábrát, mely Tagliaferriék cikkében a 3. ábra).



1.2. ábra. Tagliaferri et al., 2015 cikkében a 3. ábra, melyen a GRB050904 jelű gammakitörés utófényének az 1,155 napos spektrális energia eloszlása látható.

Ezen az ábrán az 1,155 napos spektrális energiaeloszlás látható magnitúdóskálán ábrázolva. Mint az a közölt ábrán látható, a J és I sávok között egy jelentős, több magnitúdós levágás van. Éppen ezért volt fontos, hogy ne csak a 806 nm középtérkékel rendelkező I

sávban figyeljék meg az utófényt, hanem azt felbontva 850 és 768 nm-en is (I1 és I2 sávok) legyen mérési adat. A megfigyelt adatok magyarázata (a cikk szerint) a Lyman levágás, mely alapján $z=6,3$ vöröseltolódást becsültek. Ez 2005-ben nem csak a legtávolabbi gammakitörés, hanem az egyik legtávolabbi valaha megfigyelt objektum volt a Világegyetemünkben.

2. Szabó Gyula második kérdése:

A 6. fejezetben olvassuk a ML módszer első alkalmazását a dolgozatban. Az ML módszerek számos előnye mellett két legfontosabb hátránya, hogy csak aszimptotikusan torzításmentesek, és relatíve lassan konvergálnak. Milyen értelemben „legjobb becslés” (az 50. oldal terminusának megfelelően) az alkalmazott megközelítés?

Válaszként idézem Michelberger, P., Szeidl, L. és Várlaki, P., 2001, 103. oldalán írtakat:

„Bizonyítás nélkül közöljük az alábbi tételleket, melyek a maximum likelihood becslés és a statisztikai becsléssel szemben támasztott követelmények közötti kapcsolatot jellemzik.

Ha létezik az a paraméternek egy $\hat{a}$ minimális szórású, tehát hatásos becslése, akkor a likelihood egyenletnek egy megoldása van, és ez egyenlő $\hat{a}$ -val.

Ha $\hat{a}$ az a paraméter elégséges becslése, akkor a likelihood egyenlet minden megoldása az $\hat{a}$ becslés egy függvénye.

Megjegyezzük még, hogy a maximum likelihood becsléssel viszonylag általános feltételek mellett konzisztens és aszimptotikusan normális eloszlású becsléseket kaphatunk (amelyek azonban nem mindig torzítatlanok). Ezek és a fenti tételek eredménye jelentik azokat a tulajdonságokat, melyek a maximum likelihood módszert a többi becslési módszer közül kiemelik.”

3. Szabó Gyula harmadik kérdése:

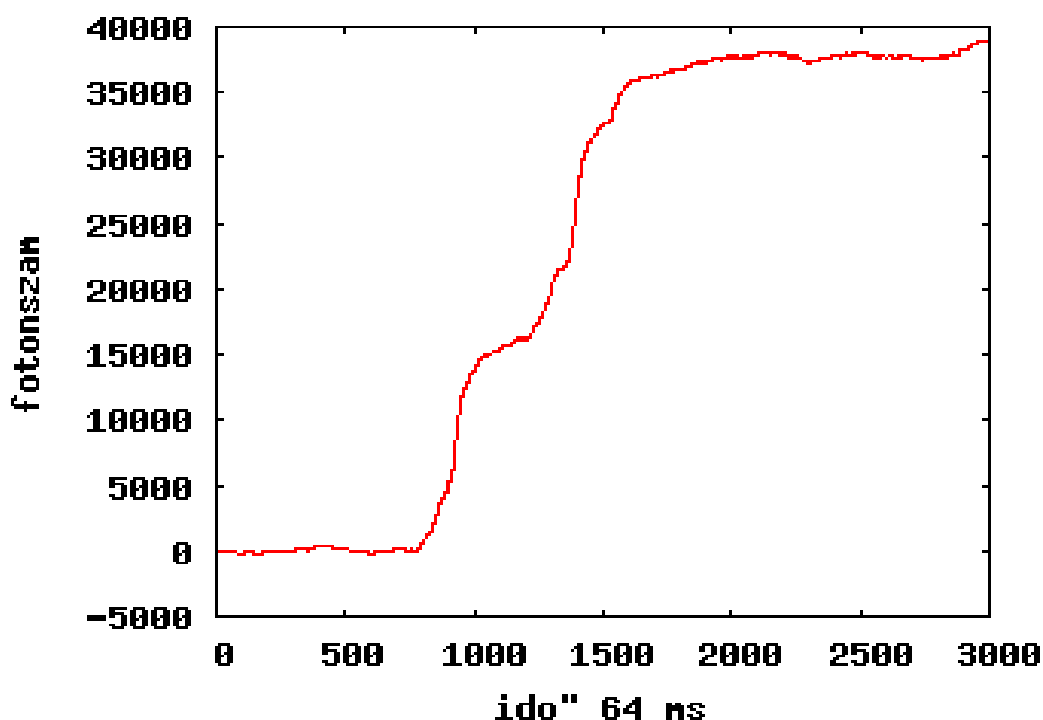
A 6.1.2. ábrán impresszióm szerint túl sok háttér van levonva, a kitörés előtti meredekség szignifikánsan negatív. A 6.1.3. ábrán a kitörés előtti szakasz túl rövid, a háttér levonás nem ítéhető meg szemre. Ez az impresszió azonban fölveti az általános kérdést: a lehetséges hibaforrásokat figyelembe véve, milyen módszerrel lehet T90 hibáját meghatározni? Hogyan függ ez a detektált fluxustól? Vannak-e T90 mérésének szisztematikusai?

Válaszom:

A CGRO BATSE által megfigyelt 2702 kitörésből közel kétezret vizsgáltam meg régebben. A másodpercenkénti fotonszám az adatokban általában 9000 és 16000 közötti volt. Így a háromszoros Poisson szórásnak megfelelő érték 300-380. Tehát egy 1 másodperc hosszú gammakitörést, melyből a detektorok csak néhány száz fotont (<400) figyeltek meg, a BATSE általában nem volt képes észlelni (a trigger kritérium 5,5-szörös szórás volt minimum két detektorban).

Ilyen fluktuáció minden ezer másodpercben kb. három várható. Az előző bekezdésben említett számok a kérdésben említett ábrákon (6.1.2-3.) használt 64 ms felbontás esetén; 560-1000 körüli fotonszám a mérési adatokban, valamint a háromszoros szórás ebben az esetben 70-100 foton. A bíráló által szignifikánsnak vélt 640 ms alatt a kumulatív görbe kb. 100-at esik (dolgozatom 6.1.2. ábrája). Ez még 64 ms alatt is csak háromszoros szórásnak felelne meg, de tízszer annyi idő alatt még annak sem.

A 6.1.3. ábrával kapcsolatban készítettem egy másik ábrát az azon szereplő 00591 számú kitörésről (3.1. ábra). A 6.1.3. ábra görbéje 12 másodperccel a kitörés előttről indul a 3.1. ábra kb. 50 másodperccel korábban.



3.1. ábra. Dolgozatom 6.1.3. ábrájához hasonló ábra a 00591 számú kitörésről, melyen az időtengely intervallumát megdupláztam.

A kérdéssel csoportunk már évtizedek óta foglalkozik a gammafénygörbék vizsgálataival kapcsolatban. A problémának nagyon szegényes az irodalma, sok információt személyes beszélgetések során szereztünk be. Érdemben csak három cikk foglalkozik a kitöréshosszak hibáival, azok is mind a múlt században íródtak ([Koshut, T. M. et al., 1996], [Bonnell, J.T., Norris, J.P., Nemiroff, R.J. and Scargle, J.D., 1997], [Horváth, I. et al., 2000]). Az első cikkben ([Koshut, T. M. et al., 1996]) a CGRO BATSE csoport írja le, hogyan határozzák meg a kitörések hosszát (duration, T50, T90), valamint hogy milyen statisztikus és szisztematikus hibákkal terhelt ez a meghatározás. Ez a csoport az alabamai NASA Marshall Űrközpontban (MSFC) dolgozott. Egy másik csoport akkor a NASA Goddard Űrközpontban (GSFC) működött és a kitörések hosszának a megfigyelt erősségtől való függésével is foglalkozott az említett másik publikációban [Bonnell, J.T., Norris, J.P., Nemiroff, R.J. and Scargle, J.D., 1997]. Mindkét csoport elérhetővé tette a használt adatsorokat (természetesen a nyers adatok a BATSE detektorok megfigyelési voltak). Mivel az utóbbi csoport a kitörések intervallumait, valamint a háttérintervallumokat is rendelkezésünkre bocsájtotta, ezért az ő adataikat felhasználva dolgozott magyar csoportunk is. Ezen eredményekből született a 2000-ben közzétett publikációnk [Horváth, I. et al., 2000].

Koshut et al., 1996 cikkükben leírják a kitörésidőtartamok meghatározásának módszerét, jóval részletesebben mint ahogy az a dolgozatom 38-40. oldalain szerepel. Részletezik a BATSE LAD (Large Area Detector) detektorok különböző adattípusait és azok használhatóságát, valamint több felmerülő problémát is. Ilyen például, ha valamely adatsor hiányos. Ez esetben nem határoznak meg kitöréshosszt, hiszen a megfelelő százalékos fotonszámok beérkezésének időpontjai nem határozhatóak meg. A statisztikus hiba

meghatározásával a cikk 2.3 alfejezete foglalkozik. $S(t)$ -vel jelölik a kitörés integrált fotonszám függvényét, tehát a megfigyelt fotonok számából levonva a háttér fotonok számát. Ilyen függvényt mutat dolgozatomban már említett két ábrája (6.1.2. és 6.1.3. ábrák), valamint a mostani 3.1. ábrám. $S(t)$ hibája Koshut et al., 1996 alapján két összetevőből áll: dS_{cnt} és dS_{fluc} . Az előbbi az integrált fotonszám $S(t)$ hibája, míg az utóbbi a háttérmodell fluktuációja. Így

$$dS_{tot} = \sqrt{(dS_{cnt})^2 + (dS_{fluc})^2}$$

$S5$ -tel ($S95$ -tel) jelölhetjük $S(t)$ maximális értékének a 0,05 (0,95) -szórását. A fenti képlet alapján számolható $S5$ hibája, amit $dS5$ jelöl. Jelöljük τ_{5-} és τ_{5+} -szal az időpontokat, amikor $S(t)$ felveszi az $S5-dS5$ és az $S5+dS5$ értékeket. Jelölje $\Delta\tau_{95}$ ezek különbségét

$$\Delta\tau_5 = \tau_{5+} - \tau_{5-}$$

Hasonlóan számolható $\Delta\tau_{95}$. Ekkor $T90$ statisztikus hibája Koshut et al., 1996 szerint

$$\delta T90 = \sqrt{(\Delta\tau_5)^2 + (\Delta\tau_{95})^2}$$

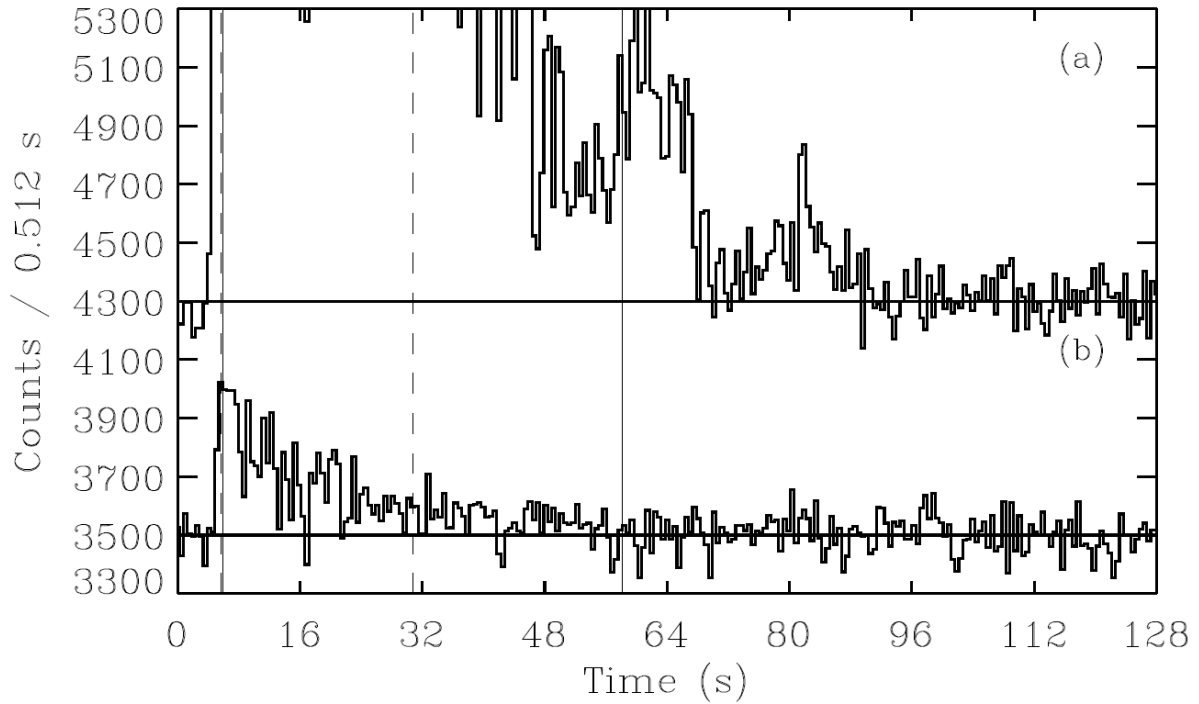
Kargaratis et al., 1994 szerint a $T50$ jobban használható adat mint a $T90$. Koshut és munkatársai megvizsgálják ezt a kérdést és nem értenek egyet.

Koshut et al., 1996 3. fejezete foglalkozik a Szabó Gyula kérdésében szereplő szisztematikussal. Megvizsgálták különböző fénygörbe alakokkal, hogy a $T90$ -t számoló program milyen értéket számol ki a mesterséges kitörésekre. A vizsgált görbék háromszög- és négyszög-alak, illetve FRED (Fast Rise Exponential Decay) alakú fénygörbék voltak. Megvizsgálták a számolt kitöréshossz függését a jel/zaj értékétől is. Tipikusan 10-12%-kal csökkent $T90$ értéke a jel/zaj érték csökkenésével. Mivel a triggerkritériumban 5,5 jel/zaj a határ, ezért ennél kisebb jel/zaj értéket nem vizsgáltak. Ezen érték esetén $T90$ és $T50$ értéke egyes esetekben 20% csökkent.

Megvizsgálták a háttérillesztési hatásokat is. Különösen nagy hatással lehet a kitöréshossz számított értékére a kitörés utáni háttérintervallum kijelölése. Minél közelebb választják a kitöréshez a háttérintervallumot annál kisebb $T90$ és $T50$ értéket kaptak. Ezen effektus hatása elérhette a 40%-ot is. Természetesen ezen effektus hatása csökkenthető, ha a kitörés utáni háttérintervallumot távolabb választjuk a kitörés vélelmezett végétől. Ez sok esetben megtehető, de például hiányzó adatfolyam vagy nagyon gyorsan változó háttér esetén ez vagy nem valósítható meg vagy más hibákkal is terheli a számítást.

Bonnell et al., 1997 ugyancsak megvizsgálta a jel/zaj viszonytól való függést. Nagy észlelt intenzitású (nagy fluence érték) gammakitöréseknél a fluence értékét mesterségesen lecsökkentették a „gyenge” kitörésekre jellemző értékre (lásd a 3.2. ábrát). Bonnellék szerint, mint azt az ábra is mutatja, a halvány kitörések esetén ez az effektus az 50%-ot is elérheti.

Bagoly Zsolttal és több amerikai kutatóval együttműködve pár évvel később mi is vizsgáltuk a $T90$ hibáját, és hasonló eredményeket kaptunk [Horváth, I. et al., 2000].



3.2. ábra. Bonnel et al., 1997 ábrája a 00678 jelű gammakitörésről. A megfigyelt beütések helyett a beütésszámot a halvány kitörések szintjére csökkentették. A függőleges vonalak jelzik a τ_5 és τ_{95} helyeit, a folytonos vonal az eredeti fotonszámok, a szaggatott vonal a csökkentett fotonszámok esetén.

A BATSE katalógus adatokon kívül jelenleg is elérhetők a J. P. Norris által létrehozott gammakitörés fotonszámok 64 milliszekundumos felbontású adatai az interneten¹. Ezekben a BATSE LAD detektorok négycsatornás adatai találhatók a triggerelt detektorokra összegezve (lásd a dolgozatom 12., 38. és 64. oldalait). Elemzésünkben a négy csatorna összegét használtuk, azaz a teljes LAD által megfigyelt (25 keV - 1 MeV) energiatartományon beérkező fotonokat vettük figyelembe. Munkánk során a Jay Norris által a BATSE kitörésekre meghatározott háttér- és kitörésidőtartamokat használtuk. Ezzel egyrészt az ő munkájukkal könnyebben összevethetőek voltak az eredményeink, másrészt megszabadultunk a határintervallumokkal kapcsolatban az előzőekben már említett problémák egy részétől.

Mivel a NASA GSFC csoport az 1024 ezredmásodperces időskálát használta a háttér illesztése során, ezért szintén a további könnyebb összehasonlítás érdekében mi is az 1024 ezredmásodperces időskálát használtuk (a kitörés előtt egyébként is csak ilyen felbontású adatok álltak rendelkezésre). A kitörést megelőző és követő háttérintervallumokon parabolát illesztettünk az adatokra. A parabolikus háttérrel levonva a kitörési intervallumon kaptuk a kitörésfotonok számait. A kapott teljes kitörés-fotonszámot felhasználva megkerestük a fotonok 5 (25) valamint a 95 (75) százalékanak a beérkezési idejét. A kettő különbsége adja a T90 (T50) mennyiséget. Az elemzés során kiszámítottuk a T30, T40, T60, T70, T75 és T80 értékeit is.

A parabolikus illesztést χ^2 -módszerrel végeztük. Ezáltal nemcsak a legjobb parabolát találtuk meg, hanem azt is, mely parabolák rendelkeznek nem szignifikánsan különböző χ^2 értékkel. A legjobb χ^2 értéke azt is megmutatta, vajon ez a parabola elfogadható-e háttérközelítésnek (a χ^2 értéke alapján). A további számításokhoz ezeket használtuk fel.

¹ ftp://legacy.gsfc.nasa.gov/compton/data/batse/ascii_data/64ms/

Amennyiben a parabolikus háttér statisztikusan elfogadható, megkereshető a parabolák egy olyan osztálya mely statisztikai értelemben hasonlóan jó háttérillesztésnek tekinthető. Pontosabban a legjobb és egy másik illesztés között nem szignifikáns a különbség. E kritérium 68%-os szignifikancia esetén (lásd például [Lampton, M., Margon, B. and Bowyer, S., 1976]):

$$\chi^2 \leq \chi_{ij}^2 + 3,5$$

Itt χ_{ij}^2 a legjobb χ^2 -et jelöli. Ezen parabolákat felhasználva meghatározható az említett nyolc különböző időtartam. Majd a 4B katalógus bizonytalanságának megfelelő mennyiség is kiszámítható.

A számítások során először a paraméterek szélsőértékeit határoztuk meg (a fenti χ^2 -kritérium alapján). Az így kapott tartományon belül egymillió pontban (100x100x100) számoltuk ki a χ^2 értéket az adott pontnak megfelelő parabola esetén. Az egymillió értékből több mint 10 ezer esett a $\chi_{ij}^2 + 3,5$ szint alá. Ezen esetekben számítottuk ki a T30, T40, T50, T60, T70, T75, T80 és T90 értékeket. Ezek átlaga nem különbözött lényegesen a χ_{ij}^2 esetén kapott értékektől. Ezt az átlagértéket használtuk a további elemzések során. Ezután vettük ezen időtartamérték szélsőértékeit, ezek megadják az időtartamok bizonytalanságait. Statisztikus értelemben ezeknek az értékeknek a jelentése ugyanis az, hogy a χ^2 teszt szerint a háttér 68 %-ra valószínű. Azaz 1000 esetből 317 esetben valószínűleg a valódi fizikai háttér nagyobb χ^2 -el rendelkezik mint $\chi_{ij}^2 + 3,5$.

Jelölje T90i a 10-20 ezer T90 minimumát, és T90x a maximumát. Az átlagértéket jelölje T90a. Ekkor természetesen kétfajta bizonytalanság adódik, egy bal oldali:

$$ub = T90a - T90i$$

és egy jobb oldali:

$$uj = T90x - T90a$$

E kettő vizsgálataink szerint lényegesen különbözött egymástól. Néhány esetben ugyan $ub > uj$, azonban a legtöbb esetben $uj > 5ub$.

Összehasonlítva a kapott eredményeket a 4B katalógus adataival megállapítottuk, hogy

- A 4B katalógus időtartam adatai az esetek több mint felében az egyszeres hibán belül megegyeznek az általunk kapott értékekkel.
- A katalógus tartalmaz ugyan az időtartamokra bizonytalanságot, de mint kiderült a jobb és bal oldali bizonytalanságok lényegesen különböznek.
- Viszont a kisebb ub is sok esetben meghaladja a 4B katalógus bizonytalanság értékét.

Az esetek 58%-ában az általunk számolt T90 hiba nagyobb volt mint a 4B katalógus értéke. 30%-nál a mi hibánk kétszerese volt a 4B katalógus értékénél. Fordítva, a 4B katalógus értéke az esetek 17%-ában volt kétszer, vagy többször nagyobb, mint az általunk számolt T90 hibaérték.

4. Szabó Gyula negyedik kérdése:

A 7.1. fejezetben a dolgozat a három csoport létét azzal a hallgatólagos feltételezéssel vizsgálja, hogy mindhárom csoport két dimenziós lognorm eloszlást követ. Az alkalmazott próba relevanciája azon múlik, hogy teljesül-e a normalitás, ami viszont nem nyilvánvaló. A 7.1.5. ábra mintha éppen azt sugallná, hogy a harmadik csoportként

az algoritmus nem a közepes időtartamú kitöréseket azonosítja, hanem a rövid és hosszú kitörések átfedésénél, a közepes csoport szárnyain létrejövő többletet. A kijelölt csoport szelektivitása igazából meglehetősen gyengének tűnik a közepes kitörésekre. Ezzel mintegy egybeesően, a 86. oldalon olvashatjuk Zitouni és mtsai (2015) eredményeit, akik egy bővebb adatsoron is azt találták, hogy az azonosítható csoportok száma függ a normalitás feltételezésétől. Kérem a feltételeknek és a 7.1.5. ábra tartalmának részletesebb kifejtését.

Válaszom:

A nagyon hasonló tele és üres körök használata az ábrán nem szerencsés, ugyanis az eredeti cikk ábrája a dolgozatomba bemásolva nem elég jó felbontású a sűrűbb részeken. A rövid kitörések + jellel vannak jelölve, ezért ezek jól elkülöníthetők. Viszont a legsűrűbb részeken, a hosszú időtartamú kitöréscsoport közepén, olyan zsúfoltan helyezkednek el a kitöréseket jelölő üres körök, hogy egy jelentős részüket tele körnek lehet nézni. Az eredeti cikk ábráját jobb minőségben mutatom a 4.1. ábrán. Jól látszik, hogy a hosszú kitörés csoport közepén csupa üres kör található. Ezen az ábrán jól látszik a hosszú kitörés csoportra jellemző egy-sigma ellipszis is, ami a dolgozatban lévő ábrán nehezen látható.

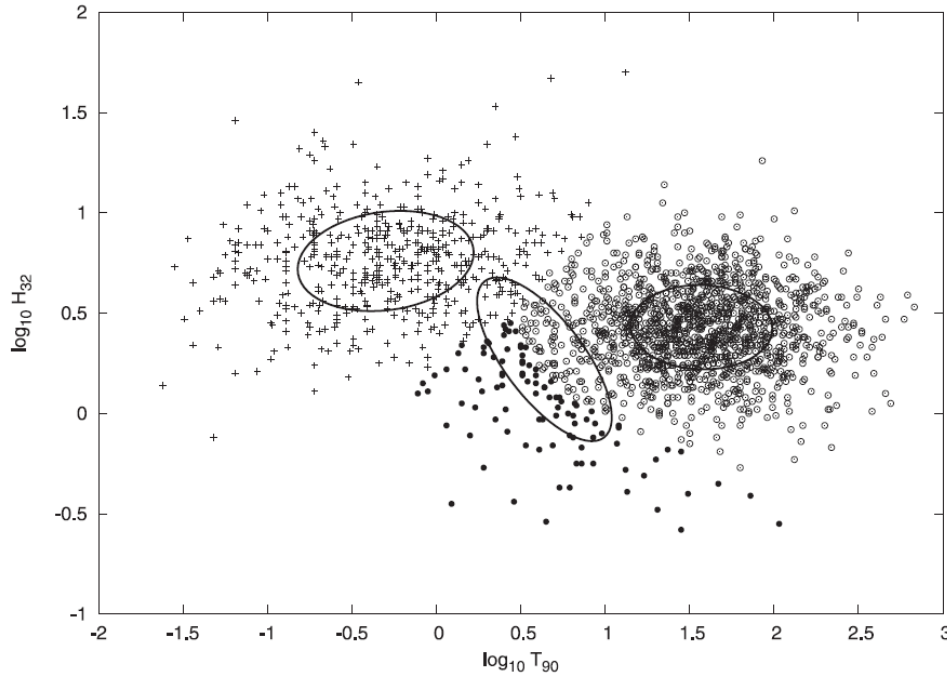


Fig. 1. Distribution of $N = 1956$ GRBs in the $\{\log T_{90}; \log H_{32}\}$ plane. The 1σ ellipses of the three Gaussian distributions are also shown, which were obtained in the ML procedure. The different symbols (crosses, filled circles and open circles) mark bursts belonging to the short, intermediate and long classes, respectively.

4.1. ábra. A kérdéses ábra az eredeti Horváth et al. 2006 cikkből másolva.

Az ábrán a jelek nem abszolút bizonyossággal rendelik csoportba a kitöréseket. Valójában egyetlen egy kitörésről se állíthatjuk bizonyossággal, hogy melyik csoporthoz tartozik. Az erre vonatkozó eljárást, az úgynevezett „fuzzy” klasszifikációt [McLachlan, G. J. and Basford, K. E., 1988], dolgozatom 70. oldalán részletesen tárgyalom. Ez alapján minden

kitörésről megmondható, hogy milyen valószínűséggel tartozik egy adott csoportba. Dolgozatom 7.1.4. képlete szerint (lásd a 70. oldalon).

$$I_l(x, y) = \frac{w_l p(x, y | l)}{\sum_{l=1}^k w_l p(x, y | l)}$$

ahol I_l adja meg az l . csoporthoz való tartozás valószínűségét. A csoportok átfednek. Legkevesbé a rövid és a hosszú kitörések csoportjai, de a közepes időtartamú gammakitörés csoport is jelentősen átfed a másik kettővel. Viszont a rövid kitörések 2,5-szer, a hosszú kitörések több mint hatszor annyian vannak mint a közepesek (w_l súlyfaktorok a dolgozat 7.1.2 táblázatában). Ezért a hosszú kitörésekhez rendelt sűrűségfüggvény a közepes időtartamú kitöréseknél, a közepesekhez tartozó tartomány majdnem felén nagyobb értéket vesz fel, mint a közepes kitörések sűrűségfüggvénye. Az ábra közepén a tele körök melletti üres köröknek megfelelő kitöréseket ugyan hosszú kitöréseknek mutatja az ábra, de csak azért, mert a konkrét kitörésnél az I_3 valószínűség meghaladja az I_2 (a közepes csoporthoz tartozó) valószínűséget. Ezen kitörések majdnem olyan valószínűséggel közepes időtartamúak, mint hosszúak. Valójában közel felük közepes, és valamivel több mint felük hosszú időtartamú gammakitörés a klasszifikáció alapján. Egyetértek a bíráló azon kijelentésével, hogy a kitörések csoportba sorolása (különösen a határtartományokon) nem jól meghatározott.

Zitouni és munkatársai cikkével [Zitouni, H., Guessoum, N., Azzam, W. J. and Mochkovitch, R., 2015] dolgozatom 86. oldalán foglalkoztam. A bekezdés a cikkről szól, de az utolsó mondat már az én megállapításom. Az említett cikkben a BATSE és a Swift/BAT adatbázis kitöréseit vizsgálták meg. Azt találták, hogy a BAT katalógus gammakitörései $5 \cdot 10^{-10}$ -re szignifikánsan három csoportba sorolhatók. Ha a kibocsátásnál (observer frame) lévő időtartamot vették számításba, akkor a három csoportba sorolás szignifikanciája $2 \cdot 10^{-5}$. A cikkben Gauss-eloszlásokat illesztnek, csak a diszkusszió utolsó bekezdésében említik meg mint lehetőséget, hogy ha a hosszú kitörések eloszlása nem szimmetrikus eloszlás, akkor Gauss-eloszlásokat illesztve előfordulhat, hogy egy Gauss-eloszlás helyett a hosszú kitöréseket két Gauss komponens jobban illeszti. Cikkükben ilyen elemzést Zitouniék nem végeztek.

Ilyen vizsgálatokat végzett Tarnopolski [Tarnopolski, M., 2016a]. Cikkében megvizsgálja a Fermi a Swift és a CGRO műholdak adatait. Tarnopolski azonban csak egy-dimenziós vizsgálatot végez. Megállapítja, hogy a többkomponensű Gauss-illesztések közül a Fermi műhold esetében a három komponens illesztése a legvalószínűbb. Közli, hogy a Swift és a BASTE adatok esetében is a Gauss-illesztések a három komponens esetén adják a legkisebb AIC (Akaike information criterion) értéket, tehát a jobb illeszkedést. Ezek után skew-normal és sh-arsh eloszlásokkal illeszti a három műhold által megfigyelt gammakitörések időtartam-eloszlásait. Cikkében megállapítja, hogy a Fermi műhold által megfigyelt gammakitörések időtartamainak az eloszlását ugyan jól írja le három Gauss-eloszlás összege, de az adatokat jobban leírja két ferde-Gauss-eloszlás összege, és még jobban leírja két sh-arsh eloszlás összege. Hasonló megállapítást nem tud tenni a Swift és a BATSE gammakitörések időtartameloszlásaira, mert ezen esetekben három Gauss-eloszlás összege adja a legjobb illeszkedést. Azonban a különböző esetekben kapott Akaike információs kritériumok közötti eltérés olyan csekély, hogy az illesztések nem különböznek szignifikánsan egymástól. Tehát a nem szimmetrikus eloszlások (ferde-Gauss és sh-arsh) ugyan nagyobb AIC értéket adnak (nagyobb AIC rosszabb illeszkedést jelent), de ezen AIC értékek eltérése a Gauss-eloszlás illesztéseknél kapott jobb értékektől nem szignifikáns.

Tehát nem két dimenzióban, de történt kutatás a kitörések eloszlásának leírására nem Gauss-komponensekkel [Tarnopolski, M., 2016a]. Az eredmény vegyes, mert egy esetben

(Fermi) jobban illeszkedett a nem-Gauss eloszlások összege, de más műholdaknál nem találtak jobb illeszkedést aszimmetrikus eloszlásokat használva. Ezeknél a műholdaknál a három Gauss-komponens adta a legjobb illeszkedést.

A logaritmikusan Gauss-eloszlást követő gammakitörés paraméterekkel több publikáció is foglalkozik. A kitörések időtartamainak az eloszlására ezt először McBreen és munkatársai igazolták [McBreen, B., et al., 1994]. McBreen-ék ezen cikkükben azt is igazolták, hogy az egy kitörésen belüli pulzusok közötti időtartamok eloszlása is lognormális. Li és Fenimore 1996-ban ez utóbbit szintén igazolta, valamint igazolták, hogy az egyes pulzusok energiatartalma (peak fluence) is lognormális eloszlást követ [Li, H. and Fenimore, E. E., 1996]. Nakar, E. and Piran, T. (2002) ezt az egyes pulzusok időtartamaira igazolta. Tudjuk továbbá, hogy a kitörések spektrumának csúcsergiája (break energy) is lognormális eloszlást követ [Preece, R. D., et al., 2000], [Ioka, K. and Nakamura, T., 2002].

A centrális határeloszlás-tételre [Rényi, A., 1966] hivatkozik cikkében Ioka és Nakamura [Ioka, K. and Nakamura, T., 2002]. Cikküket arról írták, hogy mi az eredete a gammakitörés-paraméterek lognormális eloszlásának. Ha egy folyamat esetén valamely fizikai paraméter létrejöttét több effektus független változóinak szorzataként magyarázzuk, akkor az a centrális határeloszlás-tételből következően logaritmikus skálán közel Gauss-eloszlást fog követni. Ioka és Nakamura ezt a gammakitörések esetén konkrétan megvizsgálja a csúcsergiával kapcsolatban, és a cikkben szereplő hármas számú képlet szerint azt legalább kilenc változó szorzatának találja,

$$E_b = 260 \left(\frac{p-2}{p-1} \right)^2 \varepsilon_e^2 \varepsilon_B^{0.5} \zeta_e^{-2} m_{r,28}^{0.5} L_{10}^{-1} l_{r,9}^{-1/2} \gamma_{s,2}^{-2} \gamma_{r,2}^{0.5} \gamma_{rel}^2 (1+z)^{-1}$$

ahol szinkrotron lökéshullám modellt használva $p > 2$, ε_e az elektronokra ε_B a mágneses térre jutó energia hányad, ζ_e azon elektronok hányada melyek a lökéshullám hatására γ_{rel} -re gyorsulnak, γ_s a lassú héj γ_r a gyors héj Lorentz faktora, l_r a gyors héj vastagsága, m_r a tömege, L pedig a héjak egymástól való távolsága és z a vörösetolódás. Ebben a modellben extrém relativisztikus sebességgel kidobott héjak ütközése hozza létre a gammakitörést. Érvelésük szerint ezért nem meglepő, hogy a spektrumban megfigyelt csúcsergia lognormális eloszlású.

Cikkükben három véletlen (logaritmikusan egyenletes eloszlású a $[0,1]$ intervallumon) szám szorzatának az eloszlását is megvizsgálták. Tízezer ilyen szám eloszlását hasonlították össze a lognormális eloszlással. A χ^2 statisztika 48% valószínűséget adott, tehát a két eloszlás nem különbözött egymástól szignifikánsan. Ez alapján cikkükben azt állítják, hogy a centrális határeloszlás-tétel, mely $n \rightarrow \infty$ esetén igaz, „asztrofizikai” értelemben már $n=3$ esetén is igaz. Természetesen a helyes állítás nem ez, hiszen e számítás során (három véletlen szám szorzatát vizsgálták) semmi asztrofizika nem volt használva. A helyes állítás az, hogy egyenletes eloszlású véletlen számok esetén a centrális határeloszlás-tétel már $n=3$ estén is jó közelítéssel fennáll. Tudjuk azonban, hogy a tétel nem csak egyenletes eloszlású véletlen számok összeadására vonatkozik. A követelmény az, hogy az eloszlások varianciája véges legyen. Így más eloszlások esetén $n=3$ esetben még adódhat a normális eloszlástól szignifikánsan különböző eloszlás.

Ezért a gammakitöréseket leíró elméleteknek több megfigyelt gammakitörés-paramétert, így az időtartamokat is, várhatóan több változó együttes hatásával (szorzatával) kell magyarázniuk. A legelterjedtebb kollapszár elméletek szerint ([Woosley, S. E., 1993], [Woosley, S. E. and Heger, A., 2006], [Woosley, S., 2012]) a gammakitörések időtartamát a központi motor működési ideje határozza meg. Ennek értékére és pontos mechanizmusára a jelenlegi modellek csak hozzávetőleges skálát adnak, ami körülbelül 10 másodperc [Fryer, C. L., Woosley, S. E. and Heger, A., 2001].

5. Szabó Gyula ötödik kérdése:

A dolgozat záró fejezete beszámol arról, hogy a közepes időtartamú kitörések értelmezése 1998 óta vitatott kéréskör. Kérem, hogy a mostani állás szerint ismertesse a különböző ezzel kapcsolatos irodalmi álláspontokat, és a különböző álláspontok elterjedtségét.

Válaszom:

Megnéztem a dolgozatom 8. fejezetében idézett cikkek hivatkozásait a NASA Astrophysics Data System-ben² (ADS). A hivatkozások számát elosztottam az évek számával, ezt a számot tüntettem fel a táblázat második oszlopában. Ha az évenkénti átlagos hivatkozásszám meghaladja a kettőt, akkor a publikáció viszonylag jelentős visszhangot kapott. Különböző pályázatoknál az évi 5 hivatkozást (2 év alatt 10 hivatkozást) már kiemelkedőnek minősítik. Az érintett tézispontjaimhoz kapcsolódó 6 referált publikációból öt eléri ezt a szintet. A témához kapcsolódó 8 legjobb mutatóval rendelkező cikkből 5 a vezetésemmel írt cikk, melyekből kettő egyszerűs.

cikk	évi átlagos hivatkozottság	viszonya a harmadik csoporthoz
Mukherjee et al. 1998	18,5	+ +
Qin et al. 2013	8,0	-
<u>Horváth 1998</u>	7,4	saját mű
<u>Horváth et al. 2006</u>	6,2	saját mű
<u>Horváth 2002</u>	5,7	saját mű
<u>Horváth et al. 2010</u>	5,7	saját mű
Zitouni et al. 2015	5,3	+ +
<u>Horváth et al. 2008</u>	5,3	saját mű
Tarnopolski 2015a	5,0	-
Horváth, Tóth 2016	5,0	+ +
Ripa et al. 2009	4,3	+ +
Chattopadhyay et al. 2007	4,1	+ +
<u>Horváth 2009</u>	3,9	saját mű
Hakkila et al. 2000	3,8	+ +
Hakkila et al. 2003	3,3	+ +
Lü et al. 2014	3,0	0
Tarnopolski 2016	2,5	-
Balastegui et al. 2001	2,5	+ +
Tsutsui et al. 2009	2,3	0
Ripa et al. 2012	2,2	+ +
Rajaniemi, Mahönen 2002	2,1	-
Zhang, Choi 2008	2,0	0
Tarnopolski 2015b	2,0	0
Koen, Bere 2012	1,8	+ +
Tsutsui et al. 2013	1,5	+ +

A táblázat utolsó oszlopában tüntettem fel a reakciókat a témával kapcsolatos munkáimra. + jelöli, ha ellenvélemény nélkül említi a közepes időtartamú csoportot valamely munkámat konkrétan is megemlítve, ++ jelöli, ha a cikkben számítások vannak a

² http://adsabs.harvard.edu/abstract_service.html

gammakitörésekre vonatkozóan, és statisztikusan szignifikánsan kimutat közepes időtartamú csoportot. – jelöli az ezzel ellentétes megállapítást. A nullával jelzett cikkek nem vizsgálják a rövid és hosszú gammakitöréseken kívüli csoportok létét.

Dolgozatom megírása óta eltelt egy év. Ez alatt az idő alatt a témában 20 új publikáció jelent meg, ebből 17 referált folyóiratban (+ egy saját munka [Horváth, I. and Tóth, B. G., 2016]). Ez mutatja, hogy a témát élénk érdeklődés övezi. Ezekben a publikációkban összesen 88 független hivatkozást kaptam. (Ezen időszak alatt nem e témában kapott egyéb független hivatkozásaim száma 43.)

A hosszú és rövid kitöréscsoporton kívül más ezektől különböző gammakitörést kimutató (vagy kimutatni vélő) publikáció több is van. Például extrém hosszú gammakitörések (több ezer másodperc időtartam [Gendre, B., et al., 2013], [Levan, A. J., et al., 2014]), nagyon rövid gammakitörések ([Cline, D. B., Matthey, C. and Otwinowski, S., 1999], [Cline, D. B., et al., 2005]), rövid gammakitörések, melyeket több száz másodperces lágyspektrumú emisszió követ ([Perley, D. A., et al., 2009]), tidal disruption events (TDE), melyek napokig tartanak [Levan, A., et al., 2016], stb. Próbálkoztak még nagyenergiás (HE) és nem nagyenergiás (NHE) gammakitörés megkülönböztetéssel is ([Pendleton, G. N., et al., 1996], [Pendleton, G. N., et al., 1997]), de ennek az osztályozásnak a jogosságát későbbi munkában cáfolták [Bonnell, J. T. and Norris, J. P., 1999]. Az ilyen irányú kutatásoknak azonban olyan kiterjedt az irodalma, hogy itt nem térek ki rájuk. A közepes időtartamú gammakitörésekkel kapcsolatban a fent említett közelmúltban publikált 20 cikk a következő:

Arkhangelskaja, I. V., 2017
Bhave, A., Kulkarni, S., Desai, S. and Srijith, P. K., 2017
Chattopadhyay, S. and Maitra, R., 2017
Dainotti, M. G., et al., 2017
Dainotti, M., Del Vecchio, R. and Tarnopolski, M., 2017
Kulkarni, S. and Desai, S., 2017
Levan, A., et al., 2016
Lipunov, V. M., et al., 2016a
Lipunov, V. M., et al., 2016b
Narayana Bhat, P., et al., 2016
Ohmori, N., et al., 2016
Ripa, J. and Mészáros, A., 2016
Svinkin, D. S., et al., 2016
Szécsi, D., 2017
Tarnopolski, M., 2016a
Tarnopolski, M., 2016b
Yamaoka, K., et al., 2017
Yang, E. B., Zhang, Z. B. and Jiang, X. X., 2016
Zhang, B., Lü, H.-J. and Liang, E.-W., 2016
Zhang, Z.-B., Yang, E.-B., Choi, C.-S. and Chang, H.-Y., 2016

E cikkekből 11 végzett (általában több dimenziós) elemzést a gammakitörés csoportokkal kapcsolatban. Egy elemzés eredménye volt az, hogy nem talált a rövid és hosszú időtartamú kitörés csoporttól eltérő gammakitöréseket. Egy cikk eredménye nem értékelhető ilyen szempontból, míg a többi kilenc vizsgálat mindegyike kimutatott a vizsgált adatbázisban közepes időtartamú gammakitörés csoportot. A többi kilenc cikkből, amely nem tartalmaz csoportokra vonatkozó vizsgálatot, egy nem említ közepes időtartamú csoportot, a többi nyolc publikáció a közepes gammakitörés csoportot feltételezve elemmez.

HIVATKOZÁSJEGYZÉK

- Arkhangelskaja, I. V.: Intermediate GRBs observed by various satellite experiments. *Journal of Physics: Conference Series*, Volume 798, Issue 1, article id. 012007 (2017)
- Balastegui, A., Ruiz-Lapuente, P. and Canal, R.: Reclassification of gamma-ray bursts. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Volume 328, Issue 1, pp. 283-290. (2001)
- Bhave, A., Kulkarni, S., Desai, S. and Srijith, P. K.: Two Dimensional Clustering of Gamma-Ray Bursts using durations and hardness. arXiv:1708.05668
- Bloom, J. S., Perley, D. A., Li, W., Butler, N. R., Miller, A. A., Kocevski, D., Kann, D. A., Foley, R. J., Chen, H.-W., Filippenko, A. V., Starr, D. L., Macomber, B., Prochaska, J. X., Chornock, R., Poznanski, D., Klose, S., Skrutskie, M. F., Lopez, S., Hall, P., Glazebrook, K. and Blake, C. H.: Observations of the Naked-Eye GRB 080319B: Implications of Nature's Brightest Explosion. *The Astrophysical Journal*, Volume 691, Issue 1, pp. 723-737. (2009)
- Bonnell, J. T. and Norris, J. P.: On the Brightness Distribution of Soft, "No High Energy Emission", Gamma-Ray Bursts. *Gamma-Ray Bursts: The First Three Minutes*, ASP Conference Series, Vol. 190, Edited by Juri Poutanen and Roland Svensson. p. 263 (1999)
- Bonnell, J. T., Norris, J. P., Nemiroff, R. J. and Scargle, J. D.: Brightness-independent Measurements of Gamma-Ray Burst Durations. *The Astrophysical Journal*, Volume 490, Issue 1, pp. 79-91. (1997)
- Burenin, R. A., Sunyaev, R. A., Pavlinsky, M. N., Denisenko, D. V., Terekhov, O. V., Tkachenko, A. Yu., Aslan, Z., Khamitov, I., Uluch, K., Alpar, M. A., Kiziloglu, U., Baikal, A., Bikmaev, I. F., Sakhibullin, N. R. and Suleymanov, V. F.: The First Hours of the Optical Afterglow from the Cosmic Gamma-Ray Burst 030329. *Astronomy Letters*, vol. 29, pp. 573-578. (2003)
- Chattopadhyay, S. and Maitra, R.: Gaussian-mixture-model-based cluster analysis finds five kinds of gamma-ray bursts in the BATSE catalogue. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Volume 469, Issue 3, pp. 3374-3389. (2017)
- Chattopadhyay, T., Misra, R., Chattopadhyay, A. K. and Naskar, M.: Statistical Evidence for Three Classes of Gamma-Ray Bursts. *The Astrophysical Journal*, Volume 667, Issue 2, pp. 1017-1023. (2007)
- Cline, D. B., Czerny, B., Matthey, C., Janiuk, A. and Otwinowski, S.: Study of Very Short Gamma-Ray Bursts: New Results from BATSE and Konus. *The Astrophysical Journal*, Volume 633, Issue 2, pp. L73-L76. (2005)
- Cline, D. B., Matthey, C. and Otwinowski, S.: Study of Very Short Gamma-Ray Bursts. *The Astrophysical Journal*, Volume 527, Issue 2, pp. 827-834. (1999)
- Dainotti, M. G., Nagataki, S., Maeda, K., Postnikov, S. and Pian, E.: A study of gamma ray bursts with afterglow plateau phases associated with supernovae. *Astronomy and Astrophysics*, Volume 600, id.A98, 11 pp. (2017)
- Dainotti, M., Del Vecchio, R. and Tarnopolski, M.: Gamma Ray Burst Prompt correlations. In press in *Advances in Astronomy*, special issue "Gamma-Ray Burst in Swift/Fermi Era and Beyond" (2017)
- Fryer, C. L., Woosley, S. E. and Heger, A.: Pair-Instability Supernovae, Gravity Waves, and Gamma-Ray Transients. *The Astrophysical Journal*, Volume 550, Issue 1, pp. 372-382. (2001)
- Gendre, B., Stratta, G., Atteia, J.-L., Basa, S., Boër, M., Coward, D. M., Cutini, S., D'Elia, V., Howell, E. J., Klotz, A. and Piro, L.: The ultra-long gamma-ray burst 111209A: the collapse of a blue supergiant? *Astrophysical Journal*, Volume 766, p. 30. (2013)
- Hakkila, J., GIBLIN, T. W., Roiger, R. J., Haglin, D. J., Paciesas, W. S. and Meegan, C. A.: How Sample Completeness Affects Gamma-Ray Burst Classification. *The Astrophysical Journal*, Volume 582, Issue 1, pp. 320-329. (2003)
- Hakkila, J., Haglin, D. J., Pendleton, G. N., Mallozzi, R. S., Meegan, C. A. and Roiger, R. J.: Gamma-Ray Burst Class Properties *The Astrophysical Journal*, Volume 538, Issue 1, pp. 165-180. (2000)
- Horváth, I.: A Third Class of Gamma-Ray Bursts? *The Astrophysical Journal*, Volume 508, pp. 757-759. (1998)
- Horváth, I.: A Further Study of the BATSE Gamma-Ray Bursts Duration Distribution. *Astronomy and Astrophysics*, Volume 392, pp. 791-793. (2002)
- Horváth, I.: Classification of BeppoSAX's gamma-ray bursts. *Astrophysics and Space Science*, Volume 323:(1) pp. 83-86. (2009)
- Horváth, I., Bagoly, Z., Balázs, L. G., de Ugarte Postigo, A., Veres, P. and Mészáros, A.: Detailed Classification of Swift's Gamma-ray Burst. *The Astrophysical Journal*, Volume 713, Issue 1, pp. 552-557. (2010)
- Horváth, I., Balázs, L. G., Bagoly, Z., Ryde, F. and Mészáros, A.: A new definition of the intermediate group of gamma-ray bursts. *Astronomy and Astrophysics*, 447:(1) pp. 23-30. (2006)
- Horváth, I., Balázs, L. G., Bagoly, Z. and Veres, P.: Classification of Swift's Gamma-Ray Bursts. *Astronomy and Astrophysics*, 489: pp. L1-L4. (2008)

- Horváth, I., Fenimore, E. E., Norris, J. P., Mészáros, P. and Bagoly, Z.: The duration errors of gamma-ray bursts. In: R. Marc Kippen, Robert S. Mallozzi and Gerald J. Fishman. (szerk.) GAMMA-RAY BURSTS: 5th Huntsville Symposium. AIP Conference Proceedings, Volume 526, pp. 200-204. (2000).
- Horvath, I.; Tóth, B. G.: The duration distribution of Swift Gamma-Ray Bursts. *Astrophysics and Space Science*, Volume 361, Issue 5, article id.155, 4 pp. (2016)
- Ioka, K. and Nakamura, T.: A Possible Origin of Lognormal Distributions in Gamma-Ray Bursts. *The Astrophysical Journal*, Volume 570, Issue 1, pp. L21-L24. (2002)
- Kargatis, V. E., Li, H., Liang, E. P., Smith, I. A., Hurley, K., Barat, C. and Niel, M.: Duration versus brightness of gamma-ray bursts: Comparisons between SIGNE and BATSE. *Astrophysical Journal*, Part 2 Letters, Volume 421, Issue 2, pp. L83-L86. (1994)
- Koen, C. and Bere, A.: 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*, Volume 420, Issue 1, pp. 405-415. (2012)
- Koshut, T. M., Paciesas, W. S., Kouveliotou, C., van Paradijs, J., Pendleton, G. N., Fishman, G. J. and Meegan, C. A.: Systematic effects on Duration Measurements of Gamma-Ray Bursts. *The Astrophysical Journal*, Volume 463, pp. 570-592. (1996)
- Kulkarni, S. and Desai, S.: Classification of gamma-ray burst durations using robust model-comparison techniques. *Astrophysics and Space Science*, Volume 362, Issue 4, article id.70, 11 pp. (2017)
- Lampton, M., Margon, B. and Bowyer, S.: Parameter estimation in X-ray astronomy. *Astrophysical Journal*, Volume 208, Issue 1, pp. 177-190. (1976)
- Levan, A. J., et al.: A new population of ultra-long duration gamma-ray bursts. *Astrophysical Journal*, Volume 781, p. 13. (2014)
- Levan, A., Crowther, P., de Grijs, R., Langer, N., Xu, D. and Yoon, S.-C.: Gamma-Ray Burst Progenitors. *Space Science Reviews*, Volume 202, Issue 1-4, pp. 33-78. (2016)
- Li, H. and Fenimore, E. E.: Log-normal Distributions in Gamma-Ray Burst Time Histories. *strophysical Journal Letters*, Volume 469, pp. L115-L118. (1996)
- Lipunov, V. M., et al.: The optical identification of events with poorly defined locations: the case of the Fermi GBM GRB 140801A. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Volume 455, Issue 1, pp. 712-724. (2016a)
- Lipunov, V. M., et al.: MASTER Global Robotic Net: new sites and new result. IV Workshop on Robotic Autonomous Observatories (Eds. Caballero-García, M. D., Pandey, S. B., Hiriart, D. and Castro-Tirado, A. J.) *Revista Mexicana de Astronomía y Astrofísica (Serie de Conferencias)* Vol. 48, pp. 42-47. (2016b)
- Lü, H. J., Zhang, B., Liang, E. W., Zhang, B. B. and Sakamoto, T.: The 'amplitude' parameter of gamma-ray bursts and its implications for GRB classification. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Volume 442, Issue 3, pp. 1922-1929. (2014)
- McBreen, B., Hurley, K. J., Long, R. and Metcalfe, L.: Lognormal Distributions in Gamma-Ray Bursts and Cosmic Lightning. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Volume 271, no. 3, pp. 662-666. (1994)
- McLachlan, G. J. and Basford, K. E.: *Mixture models*. New York. Marcel Dekker. (1988)
- Michelberger, P., Szeidl, L. és Várlaki, P.: *Alkalmazott folyamatstatisztika és idősor-analízis*. Typotex. Budapest. (2001)
- Mukherjee, S., Feigelson, E. D., Jogesh Babu, G., Murtagh, F., Fraley, C. and Raftery, A.: Three Types of Gamma-Ray Bursts. *The Astrophysical Journal*, Volume 508, Issue 1, pp. 314-327. (1998)
- Nakar, E. and Piran, T.: Time-scales in long gamma-ray bursts. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Volume 331, Issue 1, pp. 40-44. (2002)
- Narayana Bhat, P., et al.: The Third Fermi GBM Gamma-Ray Burst Catalog: The First Six Years. *The Astrophysical Journal Supplement Series*, Volume 223, Issue 2, article id. 28, 18 pp. (2016)
- Ohmori, N., et al.: Suzaku Wide-band All-sky Monitor measurements of duration distributions of gamma-ray bursts. *Publications of the Astronomical Society of Japan*, Volume 68, Issue SP1, id.S30 11 pp. (2016)
- Pandey, S. B., Sahu, D. K., Resmi, L., Sagar, R., Anupama, G. C., Bhattacharya, D., Mohan, V., Prabhu, T. P., Bhatt, B. C., Pandey, J. C., Parihar, P. and Castro-Tirado, A. J.: Optical observations of the bright long duration peculiar GRB 021004 afterglow. *Bulletin of the Astronomical Society of India*, Vol. 31, pp. 19-36. (2003)
- Pandey, S. B., Sagar, R., Anupama, G. C., Bhattacharya, D., Sahu, D. K., Castro-Tirado, A. J. and Bremer, M.: Early optical and millimeter observations of GRB 030226 afterglow. *Astronomy and Astrophysics*, v.417, pp. 919-924. (2004)
- Pendleton, G. N., et al.: The Intensity Distribution for Gamma-Ray Bursts Observed with BATSE. *Astrophysical Journal*, Volume 464, pp. 606-615. (1996)

- Pendleton, G. N., et al.: The Identification of Two Different Spectral Types of Pulses in Gamma-Ray Bursts. *The Astrophysical Journal*, Volume 489, Issue 1, pp. 175-198. (1997)
- Perley, D. A., et al.: GRB 080503: Implications of a Naked Short Gamma-Ray Burst Dominated by Extended Emission. *The Astrophysical Journal*, Volume 696, Issue 2, pp. 1871-1885. (2009)
- Pian, E., Soffitta, P., Alessi, A., Amati, L., Costa, E., Frontera, F., Fruchter, A., Masetti, N., Palazzi, E., Panaitescu, A. and Kumar, P.: BeppoSAX confirmation of beamed afterglow emission from GRB 990510. *Astronomy and Astrophysics*, v.372, p.456-462 (2001)
- Preece, R. D., Briggs, M. S., Mallozzi, R. S., Pendleton, G. N., Paciesas, W. S. and Band, D. L.: The BATSE Gamma-Ray Burst Spectral Catalog. I. High Time Resolution Spectroscopy of Bright Bursts Using High Energy Resolution Data. *The Astrophysical Journal Supplement Series*, Volume 126, pp. 19-36. (2000)
- Price, P. A. et al.: Multicolor Observations of the GRB 000926 Afterglow. *The Astrophysical Journal*, Volume 549, Issue 1, pp. L7-L10. (2001)
- Qin, Y., Liang, E-W., Liang, Y-F., Yi, S-X., Lin, L., Zhang, B-B., Zhang, J., Lü, H-J., Lu, R-J., Lü, L-Z. and Zhang, B.: A Comprehensive Analysis of Fermi Gamma-Ray Burst Data. III. Energy-dependent T 90 Distributions of GBM GRBs and Instrumental Selection Effect on Duration Classification. *The Astrophysical Journal*, Volume 763, Issue 1, article id. 15, 9 pp. (2013)
- Rajaniemi, H. J. and Mahönen, P.: Classifying Gamma-Ray Bursts using Self-organizing Maps *The Astrophysical Journal*, Volume 566, Issue 1, pp. 202-209. (2002)
- Rényi, A.: Valószínűségszámítás. Tankönyvkiadó. Budapest. (1966)
- Ripa, J. and Mészáros, A.: On the connection of gamma-ray bursts and X-ray flashes in the BATSE and RHESSI databases. *Astrophysics and Space Science*, Volume 361, Issue 12, article id.370, 24 pp. (2016)
- Ripa, J., Mészáros, A., Veres, P. and Park, I. H.: On the Spectral Lags and Peak Counts of the Gamma-Ray Bursts Detected by the RHESSI Satellite. *The Astrophysical Journal*, Volume 756, Issue 1, article id. 44, 13 pp. (2012)
- Ripa, J., Mészáros, A., Wigger, C., Huja, D., Hudec, R. and Hajdas, W.: Search for gamma-ray burst classes with the RHESSI satellite. *Astronomy and Astrophysics*, Volume 498, Issue 2, pp.399-406. (2009)
- Sagar, R., Stalin, C. S., Bhattacharya, D., Pandey, S. B., Mohan, V., Castro-Tirado, A. J., Pramesh Rao, A., Trushkin, S. A., Nizhelskij, N. A., Bremer, M. and Castro Cerón, J. M.: Optical and radio observations of the bright GRB 010222 afterglow: evidence for rapid synchrotron cooling ? *Bulletin of the Astronomical Society of India*, Vol. 29, pp. 91-106. (2001)
- Stanek, K. Z., Garnavich, P. M., Kaluzny, J., Pych, W. and Thompson, I.: BVRI Observations of the Optical Afterglow of GRB 990510. *The Astrophysical Journal*, Volume 522, Issue 1, pp. L39-L42. (1999)
- Svinkin, D. S., et al.: The Second Konus-Wind Catalog of Short Gamma-Ray Bursts. *The Astrophysical Journal Supplement Series*, Volume 224, Issue 1, article id. 10, 15 pp. (2016)
- Szécsi, D.: How may short-duration GRBs form? A review of progenitor theories. *Contributions of the Astronomical Observatory Skalnaté Pleso*, vol. 47, no. 2, pp. 108-115. (2017)
- Tagliaferri, G., et al.: GRB 050904 at redshift 6.3: observations of the oldest cosmic explosion after the Big Bang. *Astronomy and Astrophysics*, Volume 443, Issue 1, pp.L1-L5. (2005)
- Tarnopolski, M.: Analysis of Fermi gamma-ray burst duration distribution. *Astronomy and Astrophysics*, Volume 581, id.A29, 6 pp. (2015a)
- Tarnopolski, M.: Distinguishing short and long Fermi gamma-ray bursts. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Volume 454, Issue 1, pp. 1132-1139. (2015b)
- Tarnopolski, M.: Analysis of the observed and intrinsic durations of Swift/BAT gamma-ray bursts. *New Astronomy*, Volume 46, pp. 54-59. (2016)
- Tarnopolski, M.: Analysis of gamma-ray burst duration distribution using mixtures of skewed distributions. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Volume 458, Issue 2, pp. 2024-2031. (2016a)
- Tarnopolski, M.: Analysis of the observed and intrinsic durations of gamma-ray bursts with known redshift. *Astrophysics and Space Science*, Volume 361, article id.125, 13 pp. (2016b)
- Tóth, L. V.: A galaxisok világa. egyetemi tankönyv, ELTE (2013)
- Tsutsui, R., Nakamura, T., Yonetoku, D., Murakami, T., Kodama, Y. and Takahashi, K.: Cosmological constraints from calibrated Yonetoku and Amati relation suggest fundamental plane of gamma-ray bursts. *Journal of Cosmology and Astroparticle Physics*, Issue 08, id. 015. (2009)
- Tsutsui, R., Nakamura, T., Yonetoku, D., Takahashi, K. and Morihara, Y.: Identifying Subclasses of Long Gamma-Ray Bursts with Cumulative Light-Curve Morphology of Prompt Emissions. *Publications of the Astronomical Society of Japan*, Volume 65, Article No. 3, 11 pp. (2013)
- Woosley, S.: Models for gamma-ray burst progenitors and central engines. In: Kouveliotou, C., Wijers, R. A. M. J. and Woosley, S. (szerk.) *Gamma-Ray Bursts*. Cambridge University Press. Cambridge. pp. 191-213. (2012)

- Woosley, S. E.: Gamma-ray bursts from stellar mass accretion disks around black holes. *Astrophysical Journal*, Part 1, Volume 405, no. 1, pp. 273-277. (1993)
- Woosley, S. E. and Heger, A.: The Progenitor Stars of Gamma-Ray Bursts. *The Astrophysical Journal*, Volume 637, Issue 2, pp. 914-921. (2006)
- Yamaoka, K., et al.: Suzaku Wide-band All-sky Monitor (WAM) observations of GRBs and SGRs. *Publications of the Astronomical Society of Japan*, Volume 69, Issue 3, id.R2 (2017)
- Yang, E. B., Zhang, Z. B. and Jiang, X. X.: Two dimensional classification of the Swift/BAT GRBs. *Astrophysics and Space Science*, Volume 361, Issue 8, article id.257, 8 pp. (2016)
- Zhang, Z.-B. and Choi, C.-S.: An analysis of the durations of Swift gamma-ray bursts. *Astronomy and Astrophysics*, Volume 484, Issue 2, pp. 293-297. (2008)
- Zhang, B., Lü, H.-J. and Liang, E.-W.: GRB Observational Properties. *Space Science Reviews*, Volume 202, Issue 1-4, pp. 3-32. (2016)
- Zhang, Z.-B., Yang, E.-B., Choi, C.-S. and Chang, H.-Y.: Classifying gamma-ray bursts with Gaussian Mixture Model. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Volume 462, Issue 3, pp. 3243-3254. (2016)
- Zitouni, H., Guessoum, N., Azzam, W. J. and Mochkovitch, R.: Statistical study of observed and intrinsic durations among BATSE and Swift/BAT GRBs. *Astrophysics and Space Science*, Volume 357, Issue 1, article id.7. 9 pp. (2015)

Horváth István

Budapest, 2017. szeptember 15.