

Eötvös Loránd Tudományegyetem  
Természettudományi Kar

Fizika Doktori Iskola  
Részecskefizika és csillagászat program

# A gamma-kitörések csoportjainak statisztikus vizsgálata

A doktori értekezés tézisei

**Kóbori József**

Doktori iskola vezetője: **Dr. Gubicza Jenő**  
Doktori program vezetője: **Dr. Katz Sándor**  
Témavezető: **Dr. Bagoly Zsolt**



Budapest, 2019

## Célkitűzések

Dolgozatom a gamma-kitörések területén végzett kutatásaimat mutatja be. A gamma-kitörések kozmológiai távolságokban lejátszódó, hatalmas energiafelszabadulással járó folyamatok. Forrásaikként nagytömegű csillagok magjainak összeroppanását, vagy kompakt kettős objektumok (neutroncsillagok, fekete lyukak) egymásba spirálzását gondoljuk. A kezdeti, a kitörés energiájának legnagyobb részét a gamma-tartományban, nagyon kis térrészből ( $\sim 1000$  km), rövid idő alatt kibocsátó folyamatot a jelenség utófénye követi. A spektrumok alapján a sugárzási mechanizmus leginkább szinkrotron és inverz Compton emisszió.

Napjainkban a GRB-k fizikájának fontosabb kérdései közé tartozik például az, hogy a kitöréseknek hány csoportja van, ezek mely tulajdonságaikban különböznek vagy hasonlítanak egymásra. A gravitációs hullámok felfedezésének köszönhetően pedig megnőtt az érdeklődés a kilonóva jelenségek irányában is. Az égboltfelmérő programok észlelési stratégiájának kidolgozásakor fontos tényező az ún. árva utófények becsült gyakorisága (ezekben az esetekben csak az utófényt figyelhetjük meg). Munkám ezen területek kérdéseivel foglalkozik.

## Alkalmazott módszerek

A gamma-kitörések utófényének a különböző hullámhosszakon való megfigyelése rendkívül sok információval szolgálhat az esemény fizikai tulajdonságaival kapcsolatban. A fénygörbék halványodási rátájának (a fénygörbék "meredekségeinek"), spektrális indexeinek ("a spektrális energiaeloszlás meredekségeinek") a meghatározásával meg lehet állapítani, hogy a kitörés milyen sűrűségeloszlású közegben történt, mekkora volt a nyaláb nyílásszöge, milyen sugárzási mechanizmus keltette, stb. Ezt a módszert alkalmazva néhány kitörés optikai és röntgen utófényei alapján meghatároztam annak jellemző tulajdonságait. A kitörések nagyenergiás (gamma és röntgen tartománybeli) paramétereit hasonlítottam össze az egyes csoportok között Kolmogorov-Smirnov-teszttel [5]. A Lineáris Diszkriminancia Analízis eljárás segítségével megvizsgáltam, hogy a csoportok mely tulajdonságaikban különböznek leginkább egymástól. Numerikus simulációk segítségével a rövid kitöréseket kísérő kilonóvák várható észlelési rátáját is megbecsültem. Hasonló módszerekkel határoztam meg az árva utófények gyakoriságát is. Részt vettem a kitörések alkotta nagyléptékű struktúrák tanulmányozásában is [6]. A Fermi távcső egyik detektorához kifejlesztettünk és implementáltunk egy új

eljárást, melynek segítségével sokkal pontosabban lehet a kitörések észlelt jeleit a háttér zavaró hatásaitól megtisztítani [7, 8]. Vizsgáltuk, hogy az észlelések hiányzó adatai milyen összfüggésben vannak az észlelési effektusokkal [9]. Tanulmányoztuk, hogy az utófények optikai fényességét hogyan befolyásolják a kitörések  $\gamma$ - és röntgen jellemzői [10]. Olyan kitörések tulajdonságait elemeztük, melyeket egyszerre több detektor is megfigyelt [11]. A Swift távcső esetében meghatároztuk azt az optikai fényességet, melynél a halványabb optikai utófények mérései már megbízhatatlanok [12].

## Tézisek

1. Megvizsgáltam a közepes és a hosszú időtartamú csoportok optikai és röntgen utófényének temporális és spektrális tulajdonságait. Azt találtam, hogy a hosszú kitörések esetén a különböző hullámhosszakon mért fényességcsökkenés rátája egy csoportot alkot. Ezzel szemben a közepes időtartamú kitöréseknél a röntgen utófény nagyobb mértékben halványul, mint optikai társa [1]. Az általam talált eltérések a csoportok különböző fizikai tulajdonságait tükrözhetik. Emiatt a nagy-

energiás tulajdonságok vizsgálata mellett elengedhetetlen az utófények temporális és spektrális fejlődésének az analízise, mert ezek is hozzájárulhatnak a csoportok közötti eltérések vagy hasonlóságok kimutatásához, megértéséhez.

2. Kimutattam, hogy a közepes csoport optikai fénygörbéinek meredekségei jóval nagyobb szórást mutatnak a hosszú csoportbeli társaikéhoz képest [1]. Ez azt jelenti, hogy az optikai emissziót létrehozó mechanizmus és/vagy az utófényt létrehozó anyag dinamikai fejlődése eltérhet a két csoportra nézve. Ennek tisztázása fontos a közepes csoport fizikai tulajdonságainak jobb megértéséhez.
3. A Kolmogorov-Smirnov-teszt segítségével megállapítottam, hogy a röntgen felvillanások és a közepes hosszúságú kitörések csoportja a nagyenergiás tulajdonságaikat tekintve nagyon hasonló. A szülőgalaxisok hidrogén oszlopsűrűségének összehasonlítása pedig azt mutatja, hogy a két csoport eseményei hasonló közegben mennek végbe [2]. A röntgen felvillanások és a közepes csoport kapcsolatát több elmélet próbálja magyarázni. A két csoport tulajdonságainak minél részletesebb vizsgálata segít az elméletek tesztelésében.

4. Hosszú időtartamú kitörések árva utófényeinek szimulálásával megmutattam, hogy a nyaláb nyílászögének különböző eloszlástípusokkal (egyenletes, hatványfüggvény) generált eloszlása nem befolyásolja a várható észlelési rátát [3]. Az (árva) utófények fényességét meghatározó paraméterek nagy száma és azok bizonytalansága miatt nehéz pontos jóslatokat adni a várható észlelési gyakoriságra. Ezen bizonytalanságok csökkentése érdekében nélkülözhetetlen az utófények minél teljesebb szimulálása.
5. A rövid gamma-kitöréseket bizonyos esetekben kísérő kilonóva események várható észlelési gyakoriságát becsültem meg. A gyakoriságot meghatározó mennyiségek különféle modelljeivel kilonóva utófényeket állítottam elő és vizsgáltam azok hatását a gyakoriságra. Megállapítottam, hogy a gömbszimmetrikus struktúrával rendelkező modell lényegesen több utófényt jósol, mint a tengelyszimmetrikus modell [4]. A várható gyakorisággal kapcsolatos eredmények jelentősen befolyásolják az égboltfelmérő programok észlelési stratégiájának a kidolgozását. A várható rátának minél élethűbb szimulációk segítségével kapott eredményei nagymértékben megnövelik az adott objektumtípus azo-

nosításának hatékonyságát.

6. A kettős kompakt objektumok keletkezése és összeolvadása között eltelt idő eloszlásának típusa csak kisebb mértékben határozza meg a kilonóvák becsült rátáját [4]. Annak ellenére, hogy az ebből a tényezőtől adódó bizonytalanság a becsült rátában kisebb, mint a többi meghatározó paraméter esetében, pontos ismerete a kompakt rendszerek fejlődésének megértésében mindenképpen fontos.
7. Megállapítottam, hogy a kilonóvák detektálási gyakorisága erősen függ a választott vöröseltolódás-eloszlástól. Másrészt kimutattam, hogy a valószínűbb tengelyszimmetrikus modell utófényének rátáját nagyobb mértékben határozza meg a jelenségek távolsága [4]. A kilonóvák alacsony maximális fényessége miatt feltételezik, hogy csak azokat észlelhetjük, amelyek a lokális Univerzumban történnek. Emiatt a rövid kitöréseknél a megfigyelésekből meghatározott vöröseltolódás-eloszlás helyett egyenletes térfogati eloszlást alkalmaznak, ami az eredményeim alapján a várható gyakoriságot jelentősen befolyásolja,
8. Megmutattam, hogy a Hubble-állandó különböző módszerekkel meghatározott értékei segítségével szá-

molt kilonóva ráták nem különböznek egymástól jelentősen a gömbszimmetrikus modellt használva [4]. Ez valószínűleg annak köszönhető, hogy a rátát a kilonóvák alacsony fényessége miatt csak kis vöröseltolódásig határoztam meg. Ez azt jelenti, hogy a Hubble-állandó értékéből adódó bizonytalanság a ráta nagyságában nem befolyásoló tényező a kilonóva kereső programok megtervezésénél.

## Referált hivatkozások

- [1] **J. Kóbori**, Z. Bagoly, L. G. Balázs, I. Horváth, and D. Szécsi. Comparing the physical parameters of the intermediate and long GRB optical afterglows. In *Gamma-Ray Bursts 2012 Conference (GRB 2012)*, page 69, Jan 2012.
- [2] **J. Kóbori**, Z. Bagoly, L. G. Balázs, and I. Horváth. Investigation the connection between the intermediate gamma-ray bursts and X-ray flashes. *Astronomische Nachrichten*, 334(9):1028, Nov 2013.
- [3] **J. Kóbori**, Z. Bagoly, L. G. Balazs, Z. Ivezić, and I. Horvath. Lower orphan afterglow rates for Ga-



- ia and LSST. In *Proceedings of Swift: 10 Years of Discovery (SWIFT 10)*, page 61, Dec 2014.
- [4] **J. Kóbori**. Kilonova afterglow rate from spherical and axisymmetrical models. *Astronomische Nachrichten*, in press, 2019.

## Egyéb hivatkozások

- [5] **J. Kóbori**, Z. Bagoly, L. G. Balázs, and I. Horváth. Statistical analysis of the prompt and afterglow emission of the three groups of gamma-ray bursts. *arXiv e-prints*, page arXiv:1309.1015, Sep 2013.
- [6] L. G. Balázs, Z. Bagoly, J. E. Hakkila, I. Horváth, **J. Kóbori**., I. I. Rácz, and L. V. Tóth. A giant ring-like structure at  $0.78 < z < 0.86$  displayed by GRBs. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 452(3):2236–2246, Sep 2015.
- [7] D. Szécsi, Z. Bagoly, L. G. Balázs, P. Veres, and **J. Kóbori**. Background fitting of Fermi gamma-ray burst 091030613. In *Gamma-Ray Bursts 2012 Conference (GRB 2012)*, page 51, Jan 2012.
- [8] D. Szécsi, Z. Bagoly, **J. Kóbori**, I. Horváth, and L. G. Balázs. Direction dependent background fitt-

- ing for the Fermi GBM data. *Astronomy & Astrophysics*, 557:A8, Sep 2013.
- [9] Z. Bagoly, L. G. Balázs, I. Horváth, G. Tusnády, **J. Kóbori**, D. Szécsi, and A. Mészáros. Boolean Factor Analysis of Swift GRB Data. In *Gamma-Ray Bursts 2012 Conference (GRB 2012)*, page 39, Jan 2012.
- [10] L. G. Balázs, Z. Bagoly, I. Horvath, **J. Kóbori**, D. Szécsi, and A. Mészáros. Dependence of the optical brightness on the gamma and X-ray properties of GRBs. *arXiv e-prints*, page arXiv:1303.1920, Mar 2013.
- [11] L. G. Balazs, I. Horvath, Z. Bagoly, and **J. Kóbori**. Comparing the observed properties of the GRBs detected by the Fermi and Swift satellites. *arXiv e-prints*, page arXiv:1307.6494, Jul 2013.
- [12] **J. Kóbori**, J. Kelemen, P. Veres, B. Cenko, and D. Fox. Photometry of some recent Gamma-ray bursts. In J. E. McEnery, J. L. Racusin, and N. Gehrels, editors, *American Institute of Physics Conference Series*, volume 1358 of *American Institute of Physics Conference Series*, pages 134–137, Aug 2011.