

A 77795 sz. OTKA pályázat támogatásával elvégzett kutatás legfontosabb eredményei

Alcsoportok és kozmológiai vizsgálatok

Korábbi elemzések kimutattak egy harmadik gamma-kitörés csoportot a Compton, a BeppoSax és más műholdak adataiban.

A harmadik, közepes időtartamú csoport tulajdonságainak feltárását négy különböző műhold adathalmazát felhasználva folytattuk. A Swift műhold adataiban χ^2 -teszttel kimutattuk a harmadik csoport létét (Huja et al. 2009, A comparison of the gamma-ray bursts detected by BATSE and Swift, A&A, 504, 67). Az elemzést kiegészítve egy, a gamma-kitörés spektrumára jellemző mennyiséggel, a spektrális keménységgel, maximum likelihood módszerrel megmutattuk, hogy a Swift műhold megfigyeléseit is három (és csak három) komponenssel lehet magyarázni (Horváth et al., 2010, Detailed Classification of Swift's Gamma-ray Bursts, ApJ, 713, 552). A Swift adatbázist összehasonlítottuk a BATSE adatbázissal abból a célból, hogy a BATSE adataiból mar korábban megkapott - harmadik csoport és a Swift adatbázisból megkapott harmadik csoport mennyiben hasonlít egymáshoz (Horváth et al., SWIFT and BATSE bursts' classification, Fermi Symposium Proc., 2009; Horváth et al., The Third Group of Gamma-Ray Bursts in the Swift and BATSE Data, BA, 18, 302, 2009; Huja et al., 2009, A comparison of the gamma-ray bursts detected by BATSE and Swift, A&A, 504, 67).

A közepes időtartamú csoport a BeppoSAX műhold mérései alapján is kimutatható (Horváth 2009, Classification of BeppoSAX's gamma-ray bursts, ApSS, 323, 83), ill. ugyanerre az eredményre jutottunk a RHESSI műhold esetében is (Rípa et al., 2009, Search for gamma-ray burst classes with the RHESSI satellite, A&A, 498, 399). A négy adatbázisból következő harmadik alcsoportokat egymással is összehasonlítottuk (Horváth et al., Gamma-Ray Burst Groups Observed by Different Satellites, AIP Conf. Proc., 1133, 412, 2009).

Megvizsgáltuk, hogy a Fermi műhold GBM műszerével megfigyelt adatokban a már jól ismert hosszú és rövid kitöréseken kívül kimutatható-e más típusú kitörés is. A több dimenziós adatok elemzése során a Fermi műhold adataiban is ki tudtunk mutatni egy közepesen hosszú időtartamig tartó gamma-kitörés csoportot (Horváth et al., Classification of Fermi and Swift GRBs., Proc. of the Gamma-Ray Bursts 2012 Conf. (GRB 2012). May 7-11, 2012. Munich, Germany., 2012).

Összehasonlítottuk a hosszú és közepes időtartamú gamma-kitörések optikai utófényeit (temporális index, spektrális index, stb.). A minta azonos számú kitörést tartalmaz a hosszú és közepes csoportból, a vöröseltolódások eloszlása megegyezik (Kóbori et al., Comparing the physical parameters of the intermediate and long GRB optical afterglows, Proc. of the Gamma-Ray Bursts 2012 Conf. (GRB 2012), May 7-11, 2012. Munich, Germany, 2012).

A Fermi műhold által megmért 488 gamma-felvillanás időtartamát vizsgáltuk egyszerű statisztikai módszerekkel, de ezekkel a harmadik alcsoportot nem sikerült kimutatni (Bystřický P., Mészáros A., Rípa J., Search for the Gamma-Ray Burst Groups in the Fermi Satellite, Week of Doctoral Studies 2012, Charles University, Prague 129-133).

Olyan fizikai tulajdonságokat kerestünk az egyes csoportokra vonatkozóan, amelyek segítségével a közepes hosszúságú csoportot jól el lehet különíteni a hosszú és rövid időtartamú csoportoktól. A kérdéses csoport meghatározására új, valószínűségi definíciót adtunk meg (Bagoly Z. et al., On the Relation Between GRB Classes and X-ray Flashes, Acta Polytechnica, 52, 1, 7, 2012).

A Fermi GBM katalógusában szereplő kitörések időtartamát vizsgáltuk főkomponens-analízissel és ún. "Multiclustering" módszerrel. A három elkülönülő csoport egyike, a fizikai pa-

ramétereit tekintve, megegyezik más távcsövek által detektált kitörések rövid időtartamú csoportjaival (Horváth, I. et al., Classification of Fermi and Swift GRBs., Proc. of the Gamma-Ray Bursts 2012 Conf. (GRB 2012), May 7-11, 2012, Munich, Germany, 2012).

Csoportosítás az eddigiektől eltérő módszerekkel

Három különböző csoportosítási módszerrel (hierarchikus klaszterezés, k-means klaszterezés és modell-alapú csoportosítás) arra az eredményre jutottunk, hogy a Swift kitöréseket az időtartam-keményiség síkon három komponens segítségével lehet legjobban leírni. A harmadik komponens csúcspénység-eloszlása jelentősen eltér a rövid és a hosszú csoport hasonló eloszlásától. A mért vöröseltolódással rendelkező hosszú kitörések csúcspénység eloszlása szignifikánsan eltér a mért vöröseltolódással nem rendelkező hosszú kitörések eloszlásától. A harmadik csoport jelentős átfedést mutat egy korábban ismert kitörés csoporttal, a röntgenfelvillanásokkal. Feltételezve, hogy ugyanarról a jelenségről van szó, egy új definíciót adtunk erre a jelenségre (Veres, P. et al., A Distinct Peak-flux Distribution of the Third Class of Gamma-ray Bursts: A Possible Signature of X-ray Flashes?, The Astrophysical Journal, Vol. 725, Issue 2, pp. 1955-1964, 2010).

Vizsgáltuk a közepes hosszúságú kitörések és a röntgen felvillanások globális paramétereinek eloszlása közötti lehetséges eltéréseket is, illet azonban nem sikerült kimutatnunk (Kóbori, J. et al., Investigation of the connection between the intermediate gamma-ray bursts and X-ray flashes, Astronomische Nachrichten, Vol. 334, Issue 9, 2013).

Gamma-kitörések hatása a kozmológiára

A kitörések kozmológiai eloszlásának meghatározásánál vizsgáltuk a kiválasztási effektusokat. Az eredmények ebben a tekintetben arra mutatnak, hogy a földi megfigyelési korlátok miatt egy komplex effektust kell figyelembe venni (Bagoly, Z., Veres, P., Optical observational biases in the GRB redshift, Sixth Huntsville Symp., AIP, 1133, 473, 2009; Bagoly, Z., Veres, P., Optical Biases in the GRB Redshift Observations, BA, 18, 297, 2009). Vizsgáltuk továbbá az égbolton már korábban - a rövid és közepes alcsoportoknál meglelt - anizotrópia kozmológiai jelentőségét. Mivel az említett két alcsoport kitörései jelentős vöröseltolódásoknál vannak, ezért bármilyen anizotrópia hatása a kozmológiára és kozmológiai elvre rendkívül fontos lehet (Mészáros et al., Anisotropy in the sky distributions of the short and intermediate gamma-ray bursts: Breakdown of the cosmological principle?, Sixth Huntsville Symp. AIP Conf. Proc. 1133, 483, 2009; Mészáros et al., Impact on Cosmology of the Celestial Anisotropy of the Short Gamma-Ray Bursts, BA, 18, 293, 2009; Mészáros et al., Gamma-ray bursts in the early Universe, Proc. of IAU Symposium, 265, 73, 2010, Horváth, I.; Bagoly, Z.; de Ugarte Postigo, A.; Balázs, L. G.; Veres, P.: Redshift and spatial distribution of the intermediate gamma-ray bursts, Gamma-ray bursts 2010. AIP Conf. Proc., Vol. 1358, pp. 235-238, 2011).

Érdekes eredményt tartalmaz a (Mészáros, A.; Rípa, J.; Ryde, F., Cosmological effects on the observed flux and fluence distributions of gamma-ray bursts: Are the most distant bursts in general the faintest ones?, A&A, 529, A55, 2011) cikk. Standard nézet a csillagászatban, hogy egy adott típusú objektum látszó fényessége csökken a távolsággal. Mivel pedig a kozmológiai méreteknél a távolság monoton módon együtt nő a vöröseltolódással, elvárható, hogy például a nagyobb vöröseltolódású gamma-felvillanások átlagosan halványabbaknak látszódnak. A cikk kimutatta, hogy ez az elvárás nem szükségszerű a hosszú alcsoportnál. Lehetséges az, hogy nagyobb vöröseltolódású kitörések esetében (kb. $z=(3-5)$ fölött) a halványabb felvillanások átlagosan közelebb vannak (Mészáros A. et al., Gamma-Ray Bursts as High Redshift Objects,

IAU S295 Symposium, Peking (China), 2011).

Érdekes eredmény az is, hogy amennyiben nem zérus kozmológiai állandó mellett számoljuk a források távolságát, az eddig csak numerikusan volt számolható. Megmutattuk, hogy a sík Univerzum esetén ez a számítás analitikusan is elvégezhető az ún. elsőfajú elliptikus integrálok segítségével (Mészáros, A.; Rípa, J.: A curious relation between the flat cosmological model and the elliptic integral of the first kind *A&A*, 2013, 556, A13).

Gamma-kitörések röntgen utófénye

A Swift műhold kitörései esetén több korrelációt fedeztünk fel az azonnali emisszió és röntgen-utófény paramétereinek között: az időtartam és az utófény plató fázisa előtti és utáni törés időpontja között, az azonnal emisszió foton-indexe és a röntgen utófény meredeksége között, antikorreláció a nyugalmi rendszerbeli csúcs-energia és a röntgen utófény plató fázisának meredeksége/plató fázisa után bekövetkező törés időpontja között (Grupe, D. et al., Evidence for New Relations between Gamma-Ray Burst Prompt and X-Ray Afterglow Emission from 9 Years of Swift, *ApJS*, Vol. 209, 20, 2013).

Két további szempontból is vizsgáltuk a kitörések röntgen utófényét a Swift műhold méréseire alapozva. A kanonikus korreláció módszerével vizsgáltuk, hogy milyen összefüggés található a kitörés azonnali és az utófény alatt mért tulajdonságai között. Az elemzés alapján összefüggés van az azonnali fázis alatt kibocsátott teljes fluxus és a röntgen utófény spektrumából származtatott hidrogén oszlopsűrűség között (Balázs, L.G., Relationship Between the Gamma-Ray and X-Ray Data of the Swift GRBs, *BA*, 18, 289, 2009, Balázs, L. G.; Horváth, I.; Mészáros, P; Tusnady G; Veres P., Canonical correlation between the gamma and X-ray data of Swift GRBs, Sixth Huntsville Symposium. AIP Conf. Proc., Vol. 1133, pp. 209-211, 2009). Vizsgáltuk az azonnali fázis és az utófény intenzitásának viszonyát olyan kitörésekre, ahol a gamma- illetve a röntgen műszer egyidejűleg detektálta a kitörést. A gamma-tartományt a röntgenbe extrapolálva azt találtuk, hogy legtöbb esetben jól illeszkedik a két intervallumban mért intenzitás (Veres et al., Gamma-Ray Bursts: Connecting the Prompt Emission with the Afterglow, *BA*, 18, 284, 2009, Veres, P.; Bagoly, Z.; Kelemen, J.; Rípa, J.: Combined Swift BAT-XRT Lightcurves, Sixth Huntsville Symposium, AIP Conf. Proc., Vol. 1133, pp. 443-445, 2009).

A kitörések optikai utófényének vizsgálata

Vizsgáltuk az egyik legfényesebb kitörés, a GRB080319B optikai fénygörbéjét. Több színszűrővel felvett, 10 nap időtartamú fénygörbék vizsgálatából megállapítottuk, hogy egy egyszerű hatványfüggvénnyel jól modellezhetők. Lineáris kapcsolatot állapítottunk meg a hatványkitevő és a hullámhossz között (Veres et al., A long and homogeneous optical monitoring of the 'naked-eye' burst GRB 080319B with the Palomar-60 telescope, 2009 Fermi Symposium Proc., 2009, Fermi Symp. Proc, 2009).

Megvizsgáltuk a Swift kitörések egy szűk halmazán, hogy a gamma tartományban kibocsátott sugárzás és a korai röntgen utófény hogyan kapcsolódik egymáshoz. Ehhez kiterjesztettük a gamma-kitörés spektrumát a röntgentartományba és azt találtuk, hogy a kétfajta sugárzás fluxusa jól illeszkedik egymáshoz. Ez arra utal, hogy a kétfajta sugárzás ugyanabban a fizikai folyamatban keletkezik (Veres P., Investigating gamma-ray burst data reduction techniques with Swift's instruments, *Adv. in Space Research*, Vol. 47, Issue 8, pp. 1356-1361, 2011).

A gamma-kitörések gamma és röntgen tulajdonságainak statisztikai vizsgálata

A röntgen és optikai utófények fénygörbéit a kitöréssel együttmozgó koordináta-rendszerben vizsgáltuk. A csoportok fényességét egy korai és egy késői időpontban hasonlítottuk össze és azt találtuk, hogy a harmadik csoport a hosszúhoz képest szignifikánsan halványabb mindkét tartományban és mindkét időpontban. Egyéb tulajdonságokat összehasonlítva azt találtuk, hogy a közepes csoport kitörései a hosszúakhoz hasonlítanak leginkább környezetüket és szülő objektumaikat tekintve. Egy lehetséges eltérés a két csoport között a sugárzást kibocsátó héjak vastagsága. Ez a hosszúak esetében vékonyabb, mint a közepeseknél (de Ugarte Postigo, A. et al., Searching for differences in Swift's intermediate GRBs, *A&A*, 525, A109, 2011). Az első diszkrimináns függvény a kitörés gamma és röntgen tartományban megfigyelhető energiájához kapcsolható, míg a másik csaknem azonos a foton index-szel. (Veres et al., Properties of Swift's intermediate bursts, *Gamma-ray bursts 2010. AIP Conf. Proc.*, Vol. 1358, pp. 251-254, 2011; de Ugarte Postigo et al. *A&A*, Vol. 525, A109, 2011; Balázs et al., Observational differences between Swift GRB classes, *Gamma-ray bursts 2010. AIP Conf. Proc.*, Vol. 1358, pp. 231-234)

A többváltozós matematikai statisztika Boole-faktor eljárásával megvizsgáltuk, hogy milyen összefüggés van az olyan esetek között, amikor nem kapott mérhető jelet a Swift mesterséges holdon elhelyezett gamma (BAT), röntgen (XRT), illetve optikai (UVOT) hullámhosszon detektáló távcső. Azt kaptuk, hogy a gamma tartományban mérhető mennyiségek befolyásolják azt, hogy a másik két tartományban kapunk-e mérhető jelet. E mellett azonban a detektálás esélyeit véletlen folyamatok is befolyásolják (Bagoly, Z. et al., Boolean Factor Analysis of Swift GRB Data, *Proc. of the Gamma-Ray Bursts 2012 Conf. (GRB 2012)*. May 7-11, 2012. Munich, Germany, 2012).

Cox regresszió felhasználásával megvizsgáltuk, hogy az utófények optikai fényessége hogyan függ a gamma és a röntgen tulajdonságoktól. Az analízis megmutatta, hogy az optikai fényesség függ a kitörés gamma tartományban mért időtartamától, az ott kisugárzott energiától, valamint csúcs-intenzitástól, de nincs rá hatással a röntgen fluxus, illetve a gamma foton-index. A gamma tartományban mért tulajdonságoknak az optikai fényességre gyakorolt hatása valószínűleg a központi hajtóműből kilövellt anyag energiájával függ össze, amely az utófényt kelti a környező csillagközi anyagban (Balázs, L. G. et al., Dependence of the optical brightness on the gamma and X-ray properties of GRBs, *2012 Fermi Symposium proceedings - eConf C121028*, 2012).

Az azonnali emisszió, utófény és szülő-galaxis kapcsolata a GRB 120624B kitörésnél

Vizsgáltuk a GRB 120624B jelű kitörés fizikai paramétereit, hogy meghatározhassuk a GRB energiáját és szülő-galaxisának tulajdonságait. A szülő-galaxis O II, O III és H α vonalát felhasználva meghatároztuk a kitörés vöröseltolódását: $z = 2.1974 \pm 0.0002$. Ennek megfelelően a jelenség energiájára $E_{iso,\gamma} = (3.0 \pm 0.2) \times 10^{54}$ erg adódott. Az utófény vizsgálatából a szülő-galaxis extinkciójára $A_V > 1.5$ értéket adtunk meg (de Ugarte Postigo, A. et al., The obscured hyper-energetic GRB 120624B hosted by a luminous compact galaxy at $z = 2.20$, *A&A*, Vol. 557, 18, 2013).

Gamma-kitörések gravitációs lencsézése

A Fermi űrtávcső GBM műszerét használva azt vizsgáltuk, hogy előfordulhat-e, hogy két különbözőnek észlelt kitörés ugyanannak a forrásnak egy gravitációs lencse által megkettőzött

képe. Az eddig észlelt fénygörbék keresztkorrelációját tekintve egy gravitációs lencse-pár jelölt listát állítottunk össze, majd ezeket egyéb módszerekkel is vizsgáltuk. Eddig nem találtunk meggyőző bizonyítékot arra, hogy két kitörés ugyanannak az eseménynek lenne a lencsézett párja (Veres et al., A search for gravitational lensing effects in Fermi GRB data, 2009 Fermi Symposium Proc., 2009, Fermi Symp. Proc, 2009).

A részecske-beütésszám adatokat közvetlenül vizsgálva elméleti korlátokat állítottunk fel a megfigyelhető lencsézési effektusokra a jel/zaj viszony függvényében (Bagoly, Z; Veres, P: Achromatic Search for Gravitational Lensing in Fermi Data, Deciphering the ancient Universe with Gamma-ray bursts, AIP Conf. Proc., Vol. 1279, pp. 293-295, 2010).

A Fermi űrtávcső GBM műszerére koncentrálnak azt vizsgáltuk, hogy a nagy időfelbontású fénygörbék autokorrelációs függvénye mennyire jelzi a gravitációs lencsék hatását. Az elméleti erősítés-késleltetés függvényeket a foton számból kapott jel/zaj arányokkal összehasonlítva meghatároztuk az optimális bin méretet. Tipikus GRB jelek esetén belátható, hogy a szokásos lineáris jelfeldolgozási technikák csak szub-optimális detektálást tesznek lehetővé, gyakorlatilag csak az intenzív rövid GRB-kre szűkítve az esélyes eseményeket (Bagoly, Z.; Veres, P.; Szécsi, D., Looking for gravitational lensing signals in the Fermi GRBs, Gamma-ray bursts 2010. AIP Conf. Proc., Vol. 1358, pp. 5-8, 2011).

Különböző műholdak által észlelt kitörések tulajdonságai közötti eltérések

Azon Fermi által detektált kitörések között, amelyeket a Swift észlelt - nem észlelt, nem találtunk szignifikáns eltérést a csúcs-fluxus és csúcs-energia eloszlásában, ellenben a fluencia és időtartambeli eloszlások szignifikánsan különböztek a Fermi által igen, de a Swift által nem megfigyelt GRB-knél. Ezek az eltérések a műholdak különböző felépítésének és észlelési programjainak tudhatók be (Balázs, L. G.; Horváth, I.; Bagoly, Z.; Kóbori, J.: Comparing the observed properties of the GRBs detected by the Fermi and Swift satellites, 7th Huntsville Gamma-Ray Burst Symposium, GRB 2013: paper 5 in eConf Proc. C1304143, 2013).

A kitörések többváltozós elemzése

További vizsgálatokat folytattunk a kitörések gamma (fluencia, 1sec csúcsintenzitás, időtartam) és röntgen (kezdeti fluxus, fluxus 24 órával később, az intenzitás csökkenésének az üteme, a spektrális index, valamint a neutrális hidrogén oszlopsűrűség) adatai közötti kapcsolatot a kanonikus korreláció segítségével. Kiszámítva a kanonikus korrelációt megmutattuk, hogy szignifikáns kapcsolat van a gamma és röntgen adatok között. Az analízisből kapott kanonikus változók segítségével kiszámoltuk korrelációjukat az eredetiekkel (kanonikus együtthatók). Az így kapott kanonikus együtthatók azt mutatták, hogy a gamma fluencia és a röntgen fluxus adják a legnagyobb járulékot a korrelációhoz szemben a csökkenés ütemével és a spektrál indexszel. Ez annak a jele, hogy összefüggés van az azonnali emisszió és az utófény fényessége között (Balázs, L G.; Veres, P., Investigating gamma- and X-ray properties of GRBs using multivariate statistics, Adv. in Space Research, Vol. 47, Issue 8, p. 1404-1406, 2011).

Érdekes új eredmény, hogy a hidrogén oszlopsűrűség is jelentősen hozzájárul a korrelációhoz. Elfogadva azt, hogy a hosszú időtartamú kitörések nagy tömegű csillagok összeroskadása révén jönnek létre, ez a kapcsolat arra utal, hogy a kitörést megelőzően a csillag egy hidrogén burkot dob le (Szécsi et al., Statistical differences between Swift GRB classes based on gamma- and X-ray observations, Proc. of the Conf. 'Statistical Challenges in Modern Astronomy p. 521, 2011).

Anizotrópia

Elkészítettük a Swift BAT műszer lefedési térképét. A kitörések csoportjainak anizotrópiáját vizsgáltuk ennek segítségével. A Swift megfigyelési programja olyan, hogy az égbolt különböző területeit lényegesen eltérő ideig vizsgálja. Ez az anizotrópiát jellemző statisztikai mennyiségek szignifikanciájának számolását analitikus módon lehetetlenné teszi (Veres, P. et al., Directional Anisotropy of Swift Gamma-Ray Bursts, Deciphering the ancient Universe with Gamma-ray bursts, AIP Conf. Proc., Vol. 1279, pp. 457-459, 2010).

A 283 ismert vöröseltolódású gamma-kitörés égi eloszlásában $1.6 < z < 2.1$ körül egy nagyon szignifikáns csoportosulást találtunk, amely a várt egyéb megfigyelési effektusoknál (égbolt expozíció, stb.) sokkal erősebb. A csoport mintegy 2000-3000 Mpc méretű (Horváth, I.; Hakkila, J.; Bagoly, Z., Possible structure in the GRB sky distribution at redshift two, A&A, Vol. 561, L12, 2014, Horváth, I.; Hakkila, J.; Bagoly, Z., The largest structure of the Universe, defined by Gamma-Ray Bursts, 7th Huntsville Gamma-Ray Burst Symposium, GRB 2013: paper 33 in eConf Proc. C1304143, 2013).

A BATSE mintáján végzett anizotrópia vizsgálatok korábbi érdekes eredménye volt, hogy a rövid GRB-k esetén a csoport kitörést közvetlenül követő időszakban a fénygörbe periodikus jelre utaló komponenst tartalmazó alcsoportja erősen anizotrop eloszlású (Bagoly Z; Balázs L G; Veres P; Mészáros A; Horváth I, Anomalous grouping of some short BATSE GRBs, 2009 Fermi Symposium Proc., 2009). Az effektus valószínűleg az egyidejűleg mért aktív röntgenforrásokkal függ össze, nincs közvetlen kapcsolata a kitörésekkel.

A (Mészáros A; Rípa J; Huja D: Gamma-ray bursts in the early Universe, Chemical Abundances in the Universe: Connecting First Stars to Planets, Proc. of the International Astronomical Union, IAU Symposium, Vol. 265, pp. 73-74, 2010) cikk összefoglalta az eddig publikált anizotrópia tesztek eredményeit.

Megvizsgáltuk, hogy véletlenszerű-e az égbolton a BATSE (the Burst and Transient Source Experiment) által megfigyelt gamma-kitörések eloszlása. A megfigyelt kitöréseket öt csoportba osztottuk (rövid1, rövid2, közepes, hosszú1, hosszú2) az időtartam, illetve a csúcstényesség alapján, és a szögeloszlást külön-külön megvizsgáltuk. Három módszert használtunk: Voronoi felbontás, minimális kifesztő fa, valamint multifraktál spektrum. A mintákon belül az esetleges véletlentől való eltérés vizsgálatára 13 próba-változót vezetünk be (9-et a Voronoi felbontásra, 3-at a minimális kifesztő fára, valamint egyet a multifraktál spektrumra). A BATSE égbolt expozíciós függvényét tekintetbe véve Monte Carlo szimulációt végeztünk. A véletlentől való eltérés vizsgálatára négyzetes Euklidesz-i távolságot vezetünk be a próbaváltozók paraméter terében. Megállapítottuk, hogy a rövid1, illetve a rövid2 minták eloszlása szignifikánsan eltér a véletlentől, szignifikancia szint 99.90%, 99.98%. Ezzel szemben ez nem igaz a hosszúakat tartalmazó mintákra. A közepeseket tartalmazó minta azonban alacsonyabb szinten ugyan (98.51%), de eltér a véletlentől (Balázs et al., Is sky distribution of gamma-ray bursts random?, Astrophysical Bulletin, Vol. 65, Issue 3, pp.277-285, 2010).

A gamma-kitörések extragalaktikus eredete általánosan elfogadott. Ezt elsőként a BATSE kitöréseinek izotróp eloszlása erősítette meg, majd később az abszorpciós vonalakból származtatott vöröseltolódás. Ennek ellenére alaposabb vizsgálat után legalább egy kitörés esetében a galaktikus eredet bizonyosodott be. Ennek a kitörésnek a fénygörbéjét az elterjedt gyors emelkedés és exponenciális lecsengés modell jellemezte. Ezt az esetet alapul véve azt vizsgáltuk, hogy egyéb ilyen fénygörbéjű források lehetnek-e galaktikusak. A vizsgálat célja annak megállapítása, hogy a galaktikus források milyen mértékben szennyeznek az extragalaktikus mintát. Kiszámoltuk különböző GRB halmazok dipól és kvadrupólmomentumát a Galaktikus síkra vonatkozóan. Ezeket véletlenszerűen generált mintákkal hasonlítottuk össze, amely egyaránt tartalmazott galaktikus és izotróp égbolteloszlású forrásokat. Azt találtuk,

hogy az alhalmazok momentumai kétszeres szórásnál jobban eltérnek a véletlen minták hasonló mennyiségeitől. A vizsgált 77 forrásból a 21 mért vöröseltolódással nem rendelkező forrás a legvalószínűbb felelős az anizotropiáért. Valószínűnek találtuk, hogy a vizsgált Swift mintában néhány galaktikus forrás is jelen van (Tello, J. C., et al., Searching for Galactic sources in the Swift GRB catalog, *A&A*, 548, L7, 5, 2012, Balázs L.G. et al., Angular Distribution of GRBs, *Acta Polytechnica*, 52, No.2, 17, 2012).

Figyelemreméltó, hogy a hosszú gamma-felvillanások - melyek kapcsolata a szupernóvákkal igazolt - követik a csillagkeletkezési folyamatot (Mészáros, A.; Bagoly, Z.; Balázs, L. G.; Horváth, I.: Connection between the Star Formation Rate and the Gamma-Ray Bursts, *Proc. of the International Astronomical Union*, Peking, Vol. 292, pp. 334-334, 2012).

Aszimmetrikus hibák a kozmológiai k-korrekción

Egy olyan Monte Carlo módszert fejlesztettünk ki, amely képes az aszimmetrikus hibákat kezelni. A kitörések spektrális paramétereinek megadásakor jellemző, hogy egyik irányban eltérő hibával terhelt az adat, mint a másokban. A kitörések teljes energia-kibocsátásának számításához a spektrumot a kibocsátó rendszerbe kell transzformálnunk, és ennek számításánál alkalmaztuk az aszimmetrikus hibákat kezelő eljárást. A $z=6.7$ vöröseltolódással rendelkező GRB 080913 kitörésre így kaptuk meg a kibocsátott energiát (izotrop kibocsátást feltételezve) (Pérez-Ramírez et al., Detection of the high z GRB 080913 and its implications on progenitors and energy extraction mechanisms, *A&A*, 510, id.A105, 2010; Kovács et al., Cosmology with Gamma-Ray Bursts Using k -correction, *Acta Polytechnica*, Vol. 51, No. 2., p. 68, 2011).

RHESSI műhold

Vizsgáltuk a RHESSI műhold által észlelt gamma felvillanásokat. A három alcsoport létét ebben az adatbázisban is igazoltuk. Ebben az adatbázisban a közepes hosszúságú alcsoport keménységében a rövidekre hasonlít. Lehetséges, hogy ebben a mintában és a Swift adatbázisban talált közepes hosszúságú alcsoport nem azonos (Rípa et al., On the properties of the RHESSI intermediate-duration gamma-ray bursts, *Gamma-ray bursts 2010. AIP Conf. Proc.*, Vol. 1358, pp. 247-250, 2011; Szécsi D. et al., GRB Duration Distribution Considering the Position of the Fermi, *Acta Polytechnica*, 52, No.1, 43, 2012; Mészáros et al., Cosmology and the Subgroups of Gamma-ray Bursts, *Acta Polytechnica*, Vol. 51, No. 2., p. 82., 2011).

Statisztikus módszerekkel vizsgáltunk 427 RHESSI gamma-kitörést. Elsőként számoltuk ki a spektrális késéseket és a maximális beütésszámot egy kitörés alatt. Ezeket kiegészítettük a korábban bevezetett időtartam és keménység mérésekkel. A RHESSI adataiban korábban már megtalált harmadik csoportot megvizsgáltuk az újonnan bevezetett változók segítségével, valamint ezeket felhasználva újból elemeztük a mintában jelen lévő csoportok számát parametrikus és nem-parametrikus módszerekkel, alkalmazva a Kolmogorov-Smirnov és az Anderson-Darling teszteseteket. Azt találtuk, hogy a közepes időtartamú csoport tulajdonságai hasonlítanak a rövid csoport tulajdonságaihoz, míg a közepes és a hosszú csoportok különbözőek (Rípa, J., et al., Cosmological effects on the observed flux and fluence distributions of gamma-ray bursts, *IAU Symposium*, Vol. 279, 385 (2012), 2012, Rípa, J.; Mészáros, A.; Veres, P.; Park, I. H. On the Properties of Spectral Lags and Peak-Count Rates of RHESSI Gamma-Ray Bursts, *EAS Publications Series*, Vol. 61, 2013, pp.79-81). A közepes csoport ugyanakkor nem ugyanaz a Swift és a RHESSI mintában (Rípa, J. et al., On the Spectral Lags and Peak Counts of the Gamma-Ray Bursts Detected by the RHESSI Satellite, *ApJ*, 2012, 756, 44, 2012).

A műhold 9 germánium detektorának teljesítménye folyamatosan csökken a 2002-es fel-

bocsátása óta. Az érzékenység eredeti állapotára való visszaállításának céljából karbantartási munkálatokat hajtottak rajta végbe 2007-ben, ennek eredményeként azonban a műhold 100 keV alatti energiákon való detektálási képessége megváltozott (Veres P; Rípa J; Wigger C., The effect of annealing on the RHESSI gamma-ray detectors, 2009 Fermi Symposium Proc., 2009, Rípa, J.; Veres, P.; Wigger, C.: How the RHESSI gamma-ray burst measurements have been affected by the annealing procedure?, SIF Conf. Proc., Vol. 102, p. 569, The Shocking Universe - Gamma Ray Bursts and High Energy Shock Phenomena, Bologna, 2010).

A Fermi fénygörbék háttere és a műhold mozgása

A Fermi Gamma-ray Burst Monitor (GBM) gammasugarakat detektál a 8 keV és 40 MeV közötti energiatarományban. Kifejlesztettünk egy új háttérillesztési eljárást a műhold adataira, mely a műhold mozgásán alapul (Szécsi et al., RB Duration Distribution Considering the Position of the Fermi, Acta Polytechnica, 52, 43, 2012).

A Fermi műholdat arra programozták, hogy pályáján haladása közben saját mozgást is végezzen: ha gamma-kitörést érzékel, akkor a lehető legjobb pozíciót igyekszik fölvenni a kitöréshez képest. A gyors forgás azt eredményezi, hogy a gamma-fénygörbék háttere jelentős mértékben változik egy kitörés folyamán. Megfelelő háttérleválasztás szükséges ahhoz, hogy a kitörés statisztikus paramétereit megbízhatóan meghatározhassuk. Megvizsgáltuk, hogy a műhold mozgása hogyan befolyásolja a háttér alakulását, és kidolgoztunk egy modellt a háttérre a Föld és a Nap aktuális égi pozíciójának figyelembe vételével (Szécsi et al., New background-filtering algorithm based on the motion of the Fermi Gamma-ray Space Telescope, Memorie della Societa Astronomica Italiana v.21, p.214., 2012).

A Fermi adatok háttérillesztése időnként nem magától értetődő feladat, különösen, ha egy ún. Automatikus Ráfordulási Utasítást (ARR) ad ki a műhold. Egy jó példa a 091030613-as kitörés, amelyet nem lehet elégségesen illeszteni egy harmadfokú időfüggő polinommal. A háttérillesztési módszerünk alapját a műhold mozgása képezi: három magyarázó változót (melyek a műhold aktuális pozíciójától és irányától függenek) használunk a háttér illesztéséhez. Bemutattuk e folyamat fő lépéseit és eredményeit a trigger jelet adó 3-as NaI detektor esetén (Szécsi et al., Background fitting of Fermi gamma-ray burst 091030613, Proc. of the Gamma-Ray Bursts 2012 Conf. (GRB 2012). May 7-11, 2012).

Módszerünkkel, melynek neve Irányfüggő Háttérillesztés (Direction Dependent Background Fitting, DDBF), kitöréseket elemeztünk, különös tekintettel a GBM triggerkatalógusára. Összehasonlítottuk a T_{xx} időtartamokat az első két év Fermi Kitörés Katalógusának (2-years Fermi Burst Catalog) adataival (Szécsi et al., Background fitting of Fermi GBM observations, 4th Fermi Symposium, 2012, Monterey, CA, USA).

Módszerünk alkalmas a Fermi műhold Gamma-ray Burst Monitor (GBM) által mért gamma-kitörések háttérillesztésére a helyzeti információk és egy fizikai modell felhasználásával. Ennek a korábbi eljárásokkal szemben számos előnye van: hosszú háttér intervallumokat tud illeszteni, figyelembe veszi a műhold imbolygó mozgásából adódó összes hatást, illetve alkalmas hosszú időtartamú jelenségek vizsgálatára is. Az eljárás számos részén automatizálható, és bebizonyosodott, hogy a módszer mind a Sky Survey, mind az ARR üzemmódban alkalmazható. További munka során elkészül a kitörések DDBF katalógusa (Szécsi et al., Direction dependent background fitting for the Fermi GBM data, A&A, 557, A8, 2013).

Nyaláb spektrumok vizsgálata és modellezése

A Fermi műhold által megfigyelt gamma-kitörések spektruma jól leírható egy hatványfüggvény-nyel, egészen GeV nagyságrendű energiáig, esetenként pedig egy külön hatványfüggvényre is szükség van. Megmutattuk, hogy ezek a spektrum típusok előállnak, ha azt feltételezzük, hogy a mágneses térnek domináns szerepe van a kitörés nyalábjának a gyorsításában. Fotoszférikus sugárzás kelti a MeV nagyságrendű sugárzást, a GeV fotonokat pedig inverz Compton folyamat révén nyerjük. A jet Lorentz faktora 300-600 nagyságrendbe esik, és a megfigyelt késések az alacsony és magas energiájú fotonok között természetesen előállnak. Bizonyos esetekben egy optikai felfénylés és egy termális komponens szintén jelen van (Veres, P. et al., Single- and Two-component Gamma-Ray Burst Spectra in the Fermi GBM-LAT Energy Range, *ApJ* 2012 755, 12, 2012).

A GRB 110721A kitörés a Fermi műhold megfigyelései szerint rendkívül magas csúcsergiájú (15 MeV) spektrummal rendelkezett. Azt találtuk, hogy a kitörések klasszikus modellje, a belső lökeshullám elmélet nem adja kielégítő leírását a kitörésnek. Megmutattuk, hogy a disszipatív fotoszféra modellek szinkrotron sugárzása elő tud állítani ilyen magas csúcsergiát. A tanulmány során bevezettük az általános dinamikát a kitörések tárgyalására, amely magába foglalja a szélsőséges mágneses modelltől a tisztán barionikus modelleket egy paraméteren keresztül (Veres, P. et al., The Extremely High Peak Energy of GRB 110721A in the Context of a Dissipative Photosphere Synchrotron Emission Model, *ApJL* 2012, 761, L18, 2012).

Olyan gamma-kitörés modelleket is vizsgáltunk, amelyekben a sugárzás MeV energiájú része a fotoszférikus régióból származik és a külső lökeshullám adja a GeV sugárzást inverz Compton szórás révén. A kezdeti dinamikát egy általános gyorsulási törvénnyel írjuk le, amelyben a Lorentz faktor a sugár hatványával arányosan növekszik, a kitevő mágneses modellek esetére barionikus modellekre pedig 1. Alkalmaztuk a modelljeinket néhány fényes Fermi kitörésre és azt találtuk, hogy mind a teljes intervallumot, mind az időben felbontott spektrumokat jól leírják a modellek. Megvizsgáltuk a kapott fizikai paramétereket és tárgyaltuk a modellek alkalmazhatóságát (Veres, P. et al, Magnetically and Baryonically Dominated Photospheric Gamma-Ray Burst Model Fits to Fermi-LAT Observations, *ApJ*, 2013, 764, 94, 2012, Veres, P., Mészáros, P., Zhang, Bin-Bin: Gamma-ray burst models with general dynamics and fits to Fermi LAT bursts,, 7th Huntsville Gamma-Ray Burst Symposium, GRB 2013: paper 8 in *eConf Proc. C1304143*, 2013).

A rövid hosszúságú kitörések hosszantartó emisszióját figyelembe véve modelleztük a GRB-k GeV és TeV energiájú sugárzását az ún. "refreshed shocks" és "continuous injection" elméletek keretében (Veres, P.; Mészáros, P.: Prospects for GeV-TeV detection of short gamma-ray bursts with extended emission, *ApJ* submitted, 2013).

Három módszerrel is meghatároztuk a felfénylő nyaláb fizikai paramétereit a J1430+4204 kvazár ($z=4,7$) esetén (Veres, P.; Frey, S.; Paragi, Z.; Gurvits, L. I.: Physical parameters of a relativistic jet at very high redshift: the case of the blazar J1430+4204, *A&A*, Vol. 521, id.A6, 2010, Veres P; Frey S; Paragi Z; Gurvits L I: The compact radio structure of the high-redshift blazar J1430+4204 before and after a major outburst, *Proc. of the 5th Workshop of Young Researchers in Astronomy and Astrophysics*, Budapest, *Journal of Physics: Conf. Series*, Vol. 218, Issue 1, p. 012014, 2009).

ELTE dolgozatok

Veres Péter doktori dolgozatot nyújtott be "Gamma-kitörések fizikai tulajdonságainak statisztikus vizsgálata" címmel. A dolgozat több, a kitörésekhez kapcsolódó témakört foglalt magában. A Swift műhold által mért kitörések röntgen utófényének és gamma sugárzásának

összehasonlításából megállapította, hogy a kétféle sugárzást egyazon fizikai folyamat hozza létre. Tárgyalta még a nagy vöröseltolódású források k-korrekciónak, alkalmazva a GRB 080913 kitörésre. Három csoportosítási módszerrel is azonosította a harmadik csoportot az időtartam-keményesség síkon. Megmutatta, hogy a harmadik csoport csúcsfényesség-eloszlása jelentős eltérést mutat. Amellett érvelt, hogy a harmadik csoport kapcsolatba hozható a röntgen felvillanásokkal. Elkészítette a Swift lefedési függvényét, amely segítségével a kitörések anizotrópiáját vizsgálta. A dolgozatot sikeresen megvédte. (Veres Péter: Gamma-kitörések fizikai jellemzőinek statisztikus vizsgálata, ELTE TTK, Budapest, 2011)

Kóbori József MSc. dolgozatot adott be, Veres Péter társ-témavezetésével. Ebben a GRB optikai utófények fotometriáját végezte el. Ebből a munkából egy konferencia cikk is megjelent (Kóbori et al., A gamma-kitörések utófényeinek megfigyelése az optikai tartományban, Gamma-ray bursts 2010, AIP Conf. Proc., Vol. 1358, pp. 134-137, 2011).

2009-ben Szécsi Dorottya első helyet szerzett az ELTE Tudományos Diákköri konferenciáján Csillagászat szekcióban "A gamma-kitörések vizsgálata a Fermi mesterséges holddal" című dolgozatával, mely a GBM által triggerelt kitörések időtartamait számolta ki a hagyományos módszerrel (polinomialisítás). Ugyanebben az évben egy ismeretterjesztő cikke jelent meg a Bolyai Szemlében a Swift gamma-műholdról és a gamma-kitörésekről. 2010-ben Szécsi Dorottya sikerrel védte meg fizikus BSc szakdolgozatát az ELTE TTK-n. 2010-ben újra első helyet szerzett az ELTE Tudományos Diákköri konferenciájának Csillagászat szekciójában "A Fermi gammaműhold mozgásának vizsgálata - különös tekintettel a gamma-kitörésekre ráakadó háttér értékének alakulására" című dolgozatával, mely az előző évi kutatás kiterjesztése volt az Irányfüggő Háttérillesztési Eljárás (Direction Dependent Background Fitting, DDBF) kidolgozásával. Ez utóbbi dolgozat 2011-ben a XXX. Jubileumi Országos Tudományos Diákköri Konferencián Asztrofizika szekcióban első díjat kapott.

2012-ben Szécsi Dorottya sikerrel védte meg fizikus MSc diplomamunkáját az ELTE TTK-n (Szécsi, Dorottya: A Fermi gammaműhold mozgásának vizsgálata - különös tekintettel a gamma-kitörésekre ráakadó háttér értékének alakulására).