

Gama bljeskovi

Branislav Avramov

12.5.2014.

1 Uvod

Gama bljeskovi su jedni od najenergičnijih i najsnažnijih događaja u univerzumu i predstavljaju najluminoznije elektromagnetne pojave. Pojavljuju se sa učestanošću od nekoliko bljeskova tokom dana i utvrđeno je da potiču sa ogromnih daljina, koje se pored sa daljinama najdaljih kvazara i galaksija. Mogu trajati od 10^{-3} s do 10^3 s.

2 Istorijat

Gama bljeskovi su otkriveni slučajno 1960-tih godina i sve do skoro se smatralo da su energičnija verzija X-bljeskova. Međutim, danas se zna da drugi mehanizam pokreće gama bljeskove. Zbog teškoće primanja gama zračenja i njegove lokalizacije, bilo je do skoro nepoznato na kojim se razdaljinama od nas nalaze izvori gama bljeskova. Ustanovljeno je, međutim, da se pojavljuju nasumično, iz svih pravaca, izotropno, bez ikakve formacije ili pravilnosti, što je ukazivalo da ne potiču iz naše Galaksije, makar ne iz diska.

1997 godine je satelit Beppo-SAX uspeo da detektuje ostatak γ -bljeska u X delu spektra, par sati posle originalnog bljeska. Ovaj takozvani „afterglow” je do tad teorijski predviđjan, ali nije dokazan. Uskoro posle ovoga, otkrivani su ostaci γ -bljeskova i u ostalim delovima spektra, pogotovo u optičkom i radio delu. Ovo veliko otkriće je omogućilo da se odredi tačan položaj bljeska, galaksija iz koje potiče i da se odredi njegov crveni pomak. Ovim je dokazano da bljeskovi nastaju na kosmološkim udaljenostima, u blizini najdaljih galaksija i kvazara (reda veličine Gpc). I pored ove velike udaljenosti, ovi događaji su mnogo sjajniji od galaksija i kvazara, pri čemu bi trebalo da imaju i veću količinu energije. Izračunato je da bi energija potrebna za takvu luminoznost bila reda veličine 10^{54} erg, 1000 puta više od supernove, i sva ta energija bi se izračila za svega nekoliko sekundi (Mészáros 2006). Kako bi se objasnila ova velika količina energije, uveden je model mlazeva koji se danas uglavnom prihvata, pri čemu se energija zrači u dva mlaza duž ose rotacije izvora, dok mi zračenje registrujemo samo ako su mlazevi upereni prema nama. Takodje, utvrđeno je da je izvor bljeska prečnika od svega nekoliko stotina kilometara. Do ovoga se dolazi zbog konačne brzine svetlosti (300000 km/s). Naime, za izvor prečnika 300 000 km, i najmanja varijacija u sjaju bi bila detektovana sa Zemlje tokom jedne sekunde, zbog toga što bi svetlosti koja dolazi sa strane izvora koja je najdalja od Zemlje, bila potrebna sekunda duže da stigne do nas nego svetlosti koja dolazi sa strane koja nam je najbliža. Merenjem ovog vremenskog zakašnjenja

može se dobiti približno prečnik izvora. U slučaju gama bljeskova, utvrđeno je da izvor mora biti manji od 300 km (Chaisson & McMillan 2008). Sve ovo čini gama bljeskove izuzetno misterioznim fenomenima, i poslednjih godina je došlo do mnogobrojnih otkrića na ovom polju.

3 Kratki i dugi gama bljaskovi

Posmatrani gama bljaskovi su imali različite karakteristike, pogotovo u krivama sjaja kao što se vidi na slici 1.

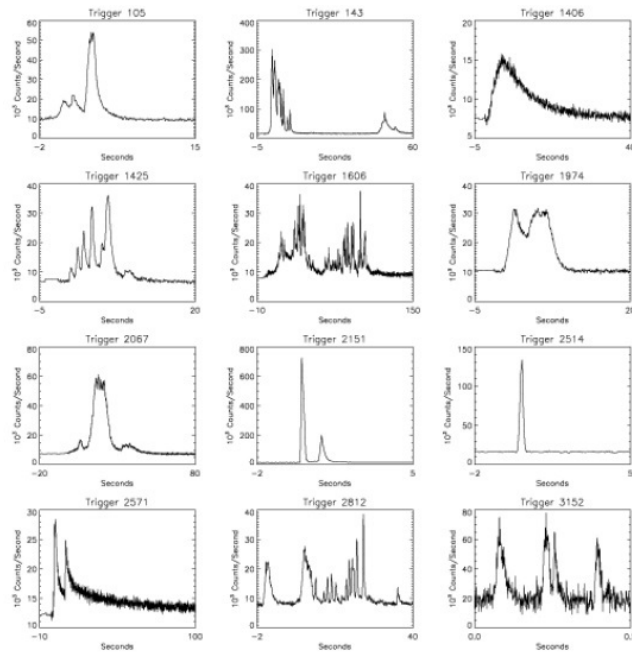


Figure 1: Različite krive sjaja gama bljeskova koje je prikupio BATSE.

Medjutim, konstruisan je takozvani model relativističke vatrene lopte koji bi objašnjavao ove pojave. Zbog velike količine energije, a malih dimenzija, smatra se da jedino kataklizmični događaji kao što su kolaps jezgra masivne zvezde i sudar komponenata u tesno-dvojnog sistema mogu da proizvedu ove količine energije. U svakom slučaju, smatra se da se u centru izvora nalazi crna rupa mase nekoliko sunčevih masa (Mészáros 2006). Oko crne rupe se formira akrecioni disk koji se ubrzava do relativističkih brzina. Većina energije se oslobadja u vidu gravitacionih talasa i neutrina, medjutim manji deo energije se oslobadja u vidu vatrene lopte gasa, koja se širi od izvora, najverovatnije relativističkim brzinama i u vidu mlaza. Ovaj mlaz zrači netermalno u gama području i mi ga registrujemo kao gama bljesak. Prilikom ovoga, formiraju se dva udarna talasa, jedan jači, radijalno od izvora, a drugi je slabiji, u suprotnom smeru. Prvi talas pri širenju interaguje sa okolnom materijom, pri čemu zrači sinhtronski i raste mu luminoznost do određene vrednosti, nakon čega opada

po zakonu

$$L \propto t^{-1}.$$

Od ovog udarnog talasa potiču detektovani ostaci gama bljeska.

Po dužini trajanja i spektru gama bljeskovi su podeljeni na kratke i duge, pri čemu se pod kraćim smatraju oni koji traju manje od dve sekunde. Smatra se da ove dve vrste imaju različito poreklo. Medjutim predloženo je (Zhang 2007) da se uvede klasifikacija tipa I i II, kao kod supernovih zbog nekih preklapanja klasifikacije na kratke i duge. Postoje dokazi da dugi bljeskovi nastaju kao rezultat hipernovih (veoma luminoznih supernovih), gde pri kolapsu jezgra nastaje crna rupa. U ovom modelu, udarni talas nastao supernovom koji se prostire kroz zvezdu usporava, dok se formira akrecioni disk oko novo-nastale crne rupe. Zatim se iz diska stvara relativistički mlaz koji u sudaru sa okolnom materijom stvara gama bljesak, dok zračenje iz akrecionog diska može ponovo pokrenuti usporeni udarni talas, i preostala materija biva izbačena u svemir. Sa druge strane, postoje dokazi da kratki bljeskovi nastaju sudarom komponenta u tesno dvojnog sistemu, pri čemu su obe komponente kompaktni objekti poput neutronske zvezde, crnih rupa ili eventualno belih patuljaka. Ovakav sudar stvara nasilnu eksploziju energije slične supernovim, dok mlazevi nastaju zbog rotacije sistema.

3.1 Dugi gama bljeskovi

Svemirska opservatorija SWIFT je do 2005. godine za 90 dugih bljeskova otkrila galaksiju iz koje potiču. Svaki od ovih bljeskova je poticao iz mlade galaksije, u kojoj je bila velika stopa formiranja plavih, toplih zvezda. Ove galaksije su bile uglavnom nepravilne, patuljaste galaksije, a sam bljesak je najčešće dolazio iz centra oblasti formiranja zvezda. Takodje, neki bljeskovi su dovedeni u direktnu vezu sa supernovama koje su usledile posle njih kao što je npr. GRB030329 sa crvenim pomakom od $z = 0.169$ posle kojeg je usledila supernova tipa Ib/c (Mészáros 2006).

3.2 Kratki gama bljeskovi

Za razliku od dugih, poreklo kratkih bljeskova nije neosporivo dokazano, uglavnom zbog većeg problema detekcije ostatka bljeska. Dok je ostatak u X području za duge bljeskove detektovan još 1997, za kratke je to postignuto tek SWIFT opservatorijom 2005. godine, i samim tim određen crveni pomak i izvorna galaksija. Pokazano je da ovi bljeskovi uglavnom potiču iz eliptičnih galaksija, sa niskom stopom formiranja zvezda. Ovo ide u prilog modelu da ovi bljeskovi nastaju od sudara kompaktnih objekata u tesno dvojnog sistemu, koji se i očekuju u ovakvim galaksijama. Uglavnom ovi bljeskovi nastaju blizu spoljne ivice galaksije.

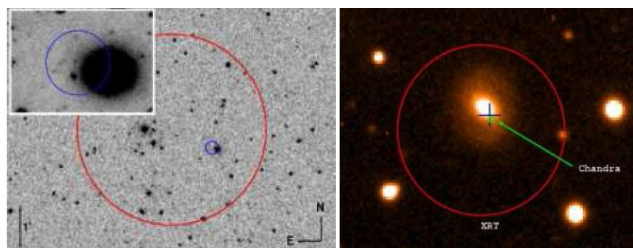


Figure 2: Dva kratka gama bljeska sa njihovim eliptičnim galaksijama koje je otkrio SWIFT. Levo: GRB 050509B, desno: GRB 050724 (Zhang 2007)

Kod otprilike trećine ovih bljesaka je otkrivena slabija, produžena emisija koja je trajala mnogo duže od 2s. Zbog ovoga, predloženo je pomeranje granice između kratkih i dugih sa 2s na 5s, međutim ovo još nije usvojeno. Ekstreman slučaj je GRB 060614 sa crvenim pomakom $z = 0.125$ (Zhang 2007) koji je trajao čak 100s, ali nije povezan ni sa jednom supernovom, takodje i ostali podaci ukazuju da se radi o kratkom bljesku, tačnije tipa I.

4 Proučavanje gama bljeskova

Od njihovog otkrića 1960-tih, pa sve do 1990-tih se veoma malo znalo o gama bljeskovima. Da bi se objasnili, morali su da se proučavaju na drugim talasnim dužinama, kao što je na primer, vidljivi deo spektra.

4.1 CGRO



Figure 3: CGRO misija (NASA)

1991. NASA je lansirala CGRO (Compton Gamma Ray Observatory), nazvanu po fizičaru Arturu Komptonu. Ova orbitalna opservatorija je funkcionisala do 2000. godine i načinila prvi korak ka razumevanju gama bljeskova (slika 3). CGRO je imao četiri instrumenta, od kojih je jedan bio BATSE (Burst And Transient Source Experiment) koji je detektovao gama bljeskove. Za vreme rada BATSE je otkrio preko 2700 gama bljeskova. BATSE je pokazao da se gama bljeskovi pojavljuju izotropno, što je značilo da se nalaze van naše galaksije. Naime, da se nalaze u našoj galaksiji, pojavljivala bi se veća koncentracija ka galaktičkom disku (slika 4).

2704 BATSE Gamma-Ray Bursts

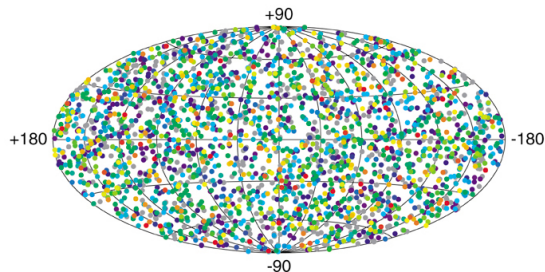


Figure 4: Izotropnost gama bljeskova koje je otkrio BATSE (NASA)

Takodje, podaci koje je nabavio BATSE su pokazali razlike izmedju kratkih i dugih bljeskova, pri čemu je napravljena ta podela (NASA, CGRO).

4.2 BeppoSAX

Sledeći veliki napredak omogućio je BeppoSAX, italijansko-holandski satelit, koji je 1997. godine prvi otkrio ostatak gama bljeska u X-području. Ubrzo su otkrivani mnogi drugi ostaci, mada samo dugih bljeskova, i ovo je omogućilo lokalizaciju, otkrivanje galaksija porekla, određivanje crvenog pomaka i značajno uznapredovalo proučavanja gama bljeskova (asdc ASI Science Data Center, BeppoSAX).

4.3 SWIFT

Najznačajnija je svakako svemirska opservatorija SWIFT koju je lansirala NASA 2004. godine. Ova opservatorija je i danas aktivna i detektuje više od 100 bljeskova godišnje (Gehrels et al. 2004). Namijenjena je za detekciju gama bljeskova, a prednost u odnosu na ostale se sastoji u tome što poseduje 3 instrumenta, od kojih je svaki namenjen za detekciju u drugom delu spektra (slika 5). BAT (Burst Alert Telescope) prvi detektuje bljesak u γ -području. BAT ima mnogo veću osetljivost i vidno polje od ranijih instrumenata, što omogućava detekciju veoma slabih bljeskova na većem delu neba. BAT lokalizuje bljesak na predeo od 4 lučna minuta, pri čemu prosledjuje podatke ostalim instrumentima. Tada XRT(X-Ray Telescope) određuje položaj do tačnosti od 5 lučnih sekundi i detektuje i meri ostatak u X području. Tokom sledećih 200s, UVOT (Ultraviolet-Optical Telescope) vrši merenja u oblasti većih talasnih dužina i snima spektar izvora. Sve do SWIFT-a, merenja na drugim talasnim dužinama su zahtevala hitnu koordinaciju sa drugim satelitima i teleskopima na Zemlji, što je predstavljalo veliki problem. SWIFT je prvi otkrio ostatak bljeska za kratke gama bljeskove i prvi otkrio objekte sa crvenim pomakom $z > 6$ (Mészáros 2006).

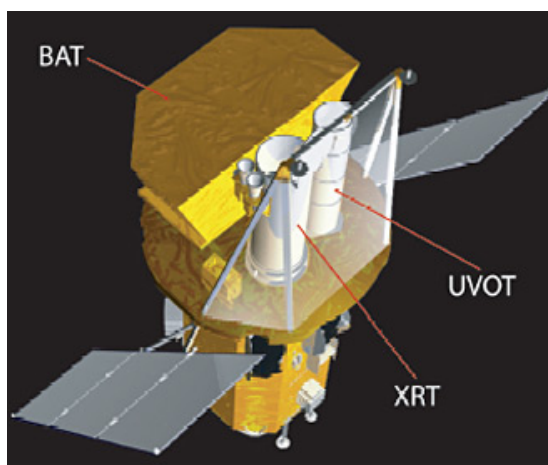


Figure 5: Instrumenti SWIFT-a (NASA)

5 Skorija otkrića

Maja 2013. NASA-ini teleskopi SWIFT i FERMI su otkrili bljesak GRB 130427A koji je proglašen za najenergičniji bljesak do sada posmatran. Zabeležena je energija veća od 94 GeV, koja je emitovana satima, a sam bljesak je trajao veći deo dana, najduži do sada uočen. Bljesak spada u jedan od 5 najbližih gama bljeskova, udaljen samo 3.6×10^9 svetlosnih godina (NASA).

Najdalji bljeskovi do danas posmatrani su imali crveni pomak $z > 9$, međutim, veruje se da će sledeća generacija teleskopa moći da detektuje gama bljeskove do čak $z \approx 20$. To bi bili tzv. primordijalni gama bljeskovi koji potiču od zvezda III populacije (zvezde sa veoma malo ili bez metala, koje su formirane do 10^7 godina od Velikog praska) i koji bi pružili podatke o uslovima na kraju kosmičkog tamnog doba. Takodje bi nam dali dragocene informacije o formiranju prvih zvezda i galaksija (Mesler et al. 2014).

7. maja 2014. godine objavljeno je da je VLT (Very Large Telescope) otkrio GRB121024A (Slika 6), u kojem je otkrivena kružna polarizacija svetlosti. Ovo se smatra direktnom posledicom formiranja crne rupe i predstavlja prvi takav događaj zabeležen. Takodje je pokazao da su gama bljeskovi mnogo komplikovanije pojave nego što je do sada smatrano i da se određene teorijske pretpostavke u modelima moraju revidirati i modifikovati (ICRAR) .

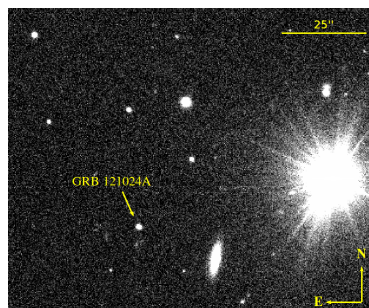


Figure 6: GRB 121024A (ESO)

6 Zaključak

Gama bljeskovi su fascinantne pojave čije proučavanje tek danas stvarno napreduje. Sa moćnijim teleskopima i odgovarajućim modelima koji se poklapaju sa posmatranjima, danas je ovo jedna od najaktuelnijih tema u astrofizici. Njihovo proučavanje ima ogroman značaj jer nam pruža uvid u kraj života veoma masivnih zvezda, sudar kompaktnih objekata i ekstremne uslove. Veruje se da će nam takodje pružiti informacije o formiranju crnih rupa, relativističkom ubrzanju elektrona i formiranju prvih zvezda i galaksija u ranoj vasioni. Takodje imaju veliki potencijal da budu iskorišćeni za detekciju gravitacionih talasa i tamne materije, što ih čini ključnim u oblastima poput kosmologije.

7 Literatura

1. Chaisson, E. and McMillan, S.:2008, Astronomy Today, Pearson Education, Pearson Addison - Wesley
2. Gehrels N. et al:2004, The Astrophysical Journal, 611:1005–1020
3. Mesler R.A.:2014, <http://arxiv.org/abs/1401.5565v1>
4. Mészáros, P.:2006, Reports on Progress in Physics IOP Publishing Ltd.
5. Zhang, B.:2007, Chin. J. Astron. Astrophys. Vol. 0, No. 0
6. <http://www.asdc.asi.it/bepposax/>
7. <http://heasarc.gsfc.nasa.gov/docs/cgro/>
8. http://www.icrar.org/news/news_items/media-releases/astronomers-observe-corkscrew-nature-of-light-from-a-distant-black-hole
9. <http://www.nasa.gov/topics/universe/features/shocking-burst.html#.U3DpZPmSxKI>