

Gammakitörések földi megfigyelései

Kelemen János
MTA KTM CSKI

1967-ben a nukleáris kísérletekre vonatkozó tilalom betartását ellenőrző VELA mesterséges holdak olyan röntgen- és gammasugár-felvillanásokat találtak, amelyek emlékeztettek a földi atombomba-robbantások által keltett elektromágneses sugárzás jellegzetességeire. Vagyis igen rövid ideig tartó erős sugárzásnövekedést figyeltek meg. A holdakon elhelyezett érzékelők kb. 5000 kilométeres körben tudták az esetleges tiltott nukleáris robbantásokat lokalizálni, azonban az észlelt felvillanások idején bizonyíthatóan nem történtek földi atomkísérletek. A gammasugárzás pillanatnyi, jelentős megerősödésének ezért Földön kívüli okot kellett keresni. A megfigyelésekre vonatkozó titkosítást feloldva 16 megfigyelés alapján Klebesadel és munkatársai (1973) *Observations of Gamma-Ray Bursts of Cosmic Origin* címmel összefoglalták az addigi vizsgálatok eredményeit:

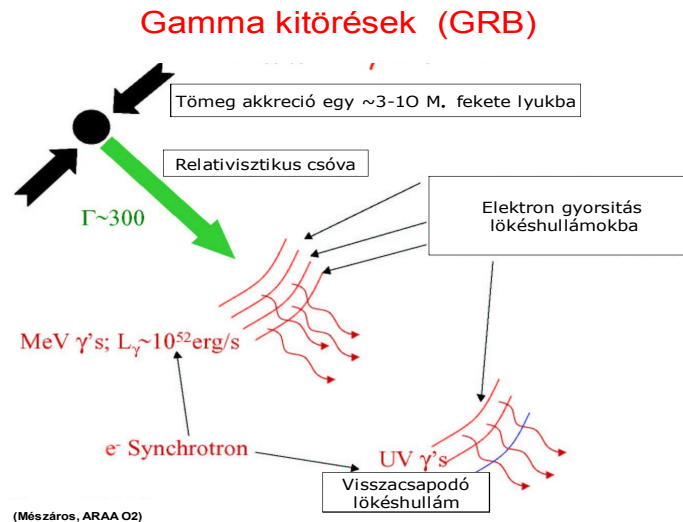
- a felvillanások időtartama 30 ms és 1000 s közé esik,
- a több VELA szondán mért beérkezési időpontok különbsége alapján a források az éggömbön helyezkednek el,
- nem a Naptól érkezik a sugárzás,
- a felvillanások nem azonosíthatók sem térben, sem időben szupernóva-robbanásokkal.

A rejtélyes objektumok vizsgálatában komoly előrelépést jelentett a Compton Gamma Ray Observatory 1991-ben történt felbocsátása. Ennek BATSE (*Burst and Transient Source Experiment*) nevű igen érzékeny gammasugár-detektora több ezer gammasugár-felvillanást (Gamma ray burst, GRB) észlelt, melyek égi eloszlása teljesen egyenletes (izotrop), vagyis nem mutatnak semmiféle csoportosulást a galaktikus fősík vagy a galaktikus centrum irányában. Ez elég szilárd bizonyíték amellet, hogy a GRB-k extragalaktikus eredetűek. Az ismert fehér törpékkel, pulzárokkal, szupernóvával, gömbhalmazokkal, kvazárokkal, Seyfert-galaxisokkal és egyéb aktív galaxismagokkal történt egybevetés sem járt eredménnyel. Az igen kemény gammasugárzás természetét magyarázó elméletek felvetették, hogy a kitörésnek a környezetére való hatása miatt hosszabb hullámhosszakon, vagyis röntgen-, ultraibolya, optikai stb. utánpénylésnek (afterglow) kell megjelennie.

Mai ismereteink szerint GRB jelenség akkor lép fel, amikor egy nagy tömegű csillag magjában az energiatermelés leállása miatt hirtelen összeomlás következik be, vagy egy kettős rendszerben a kísérő és a főcsillag összeolvad. Egy másik lehetőség két neutroncsillag vagy egy neutroncsillag és egy fekete lyuk ütközése. Mindegyik esetben igen rövid idő alatt bekövetkezik a gravitációs összeomlás, és a Nap tömegének többszörösét kitevő tömegű fekete lyuk jön létre, amely körül a környező anyagból egy tórusz marad. Ezt a fekete lyuk bekebelezi, és a közben felszabaduló gravitációs energia szétsugárzódása a környező anyagot egy forgástengely irányú kúp mentén relativisztikus sebességgel kilöveli. Az energia felszabadulása igen hatékony, az anyag nyugalmi tömegének 30-40 %-a szétsugárzódik. Az összeomlásban részt vevő kompakt objektumok (fekete lyuk, neutroncsillag, fehér törpe) típusától és környezetük jellegétől függően a fellépő magneto-hidrodinamikai effektusok keskenyebb vagy szélesebb jeketet hoznak létre, amelyek a belső forrás energiáját különböző hatékonysággal – leegyszerűsítve: “gyorsasággal” – juttatják ki. A kompakt objektumok ütközése gyors (< 5 s), az összeomló csillagmagok hosszabb (10–1000 s) robbanáshoz vezetnek. A nagy energiájú gammasugárzás az energiafelszabadulás során bekövetkező részecskefizikai folyamatok eredménye. A kirobbanó relativisztikus jetnek a környező anyaggal történő kölcsönhatása során – amikor a jet energiája egy vagy több lökéshullámfrontban transzformálódik – jön létre a robbanást követő kisebb energiájú röntgen-, UV és optikai sugárzás, a GRB utófénylése (1. ábra).

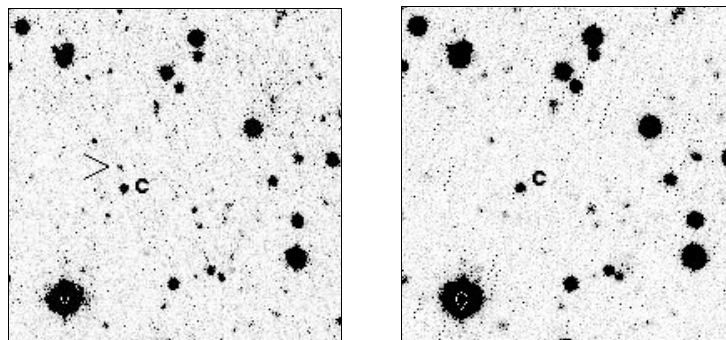
A gammakitörések kutatásában fontos áttörés akkor született, amikor 1997 februárjában a BeppoSAX mesterséges hold röntgenkamerájával sikerült megfigyelni a gammasugár-kitörést követő,

halványuló röntgenutófénylést. A későbbi megfigyelések arra is fényt derítettek, hogy az intenzitáscsökkenés megfigyelt módja nem egyeztethető össze egy szferikusan robbanó tűzgömb elképzeléssel, hanem igazolták a keskeny, relativisztikus sebességű sugárnyaláb-jet létezését (1. ábra).



1. ábra. Mészáros Péter (PSU) magyarázó ábrája a GRB jelenség legfontosabb jellemzőire.

A korábbi BATSE adatok tanulmányozása már az 1990-es években elkezdődött a Csillagászati Kutatóintézetben, és az elsők között kapcsolódtunk be a GRB utánpfénylések keresésébe is (2. ábra).



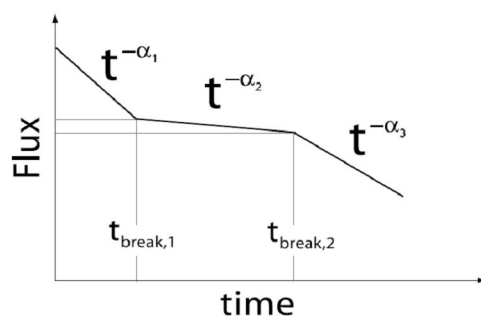
2. ábra. Az első hazai GRB OT (optikai transziens) megfigyelésünk (Kelemen, 1997). A bal oldali kép 1997. május 15,994 UT időpontban készült, a jobb oldali 1997. június 01,001 UT időpontban. A későbbi képen nyoma sincs a bal oldalon nyíllal jelzett OT forrásnak. (A C jelű objektum az összehasonlító csillag.)

A GRB070508 gamma-, röntgen és optikai megfigyelései lehetővé tették, hogy távolságát meghatározzuk. A folyamatos fénycsökkenés után talált, tovább nem halványuló objektum egy távoli ($z = 0,835$) galaxisnak bizonyult, vagyis a GRB fizikai kapcsolatban volt ezzel a kozmológiai távolságban levő extragalaxissal.

Az optikai utánpfénylések vizsgálatának másik fontos hozadéka a fénycsökkenés ütemének pontos megismerése. A GRB felvillanását előidéző objektumot elhagyó relativisztikus jet és a környező közeg kölcsönhatásától, továbbá a kiáramló jet impulzív vagy folyamatos jellegétől függően az energiavesztés időfüggése változik. A $\sim t^x$ összefüggésének x kitevője a mérésekből meghatározható, így ismeretében eldönthető, hogy a jetmodellek melyike írja le a valóságot a legjobban (Mészáros, Rees, 1997).

A GRB utófénylések megfigyelt száma akkor növekedett meg ugrásszerűen, amikor felbocsátották a NASA Swift mesterséges holdját. A Swift 2004. november 20-i indítása új lehetőségekkel bővítette a GRB-k kutatását. A gamma-sugárzás kitörésének irányát kódolt maszkkal ellátott gammadetektor állapítja meg, és a vele párhuzamosan szerelt röntgen- és ultraibolya-optikai teleszkóp a szondával együtt gyorsan a kitörés irányába fordul. Így legfeljebb percek alatt szimultán észlelés kezdődhet az utófénylés röntgen- és optikai jellemzőinek meghatározására. Csak azokban a speciális esetekben nincs erre lehetőség, amikor az átfordulás irányába a Föld, a Nap vagy más zavaró égitest kerülne.

A Swift gamma-sugár-detektora (BAT, burst alert telescope) által érzékelt GRB adatai a NASA TDRSS (*Tracking and Data Relay Satellite System*) geoszinkron műholdakból álló hálózata segítségével azonnal a vezérlő központba jutnak, ahonnan a forrás irányára vonatkozó információ email és sms üzenőrendszeren azonnal eljut a világ összes a Swift Follow Up Team hálózatba tartozó földi obszervatóriumába. Ezekben az égbolt adott területét megfigyelni képes automata távcsövek percek alatt elkezdik a GRB utófénylésének fotometriai és spektroszkópiai vizsgálatát. Ezzel lehetőség nyílik a fényváltozás nagy időfelbontású vizsgálatára, valamint a vöröseltolódás mértékének spektroszkópiai úton történő megállapítására. Ideális esetben vizsgálható a GRB-t tartalmazó extragalaxis, megállapítható annak típusa és jellege.



3. ábra. GRB röntgenutófénylések vizsgálata alapján konstruált kanonikus fénygörbe.

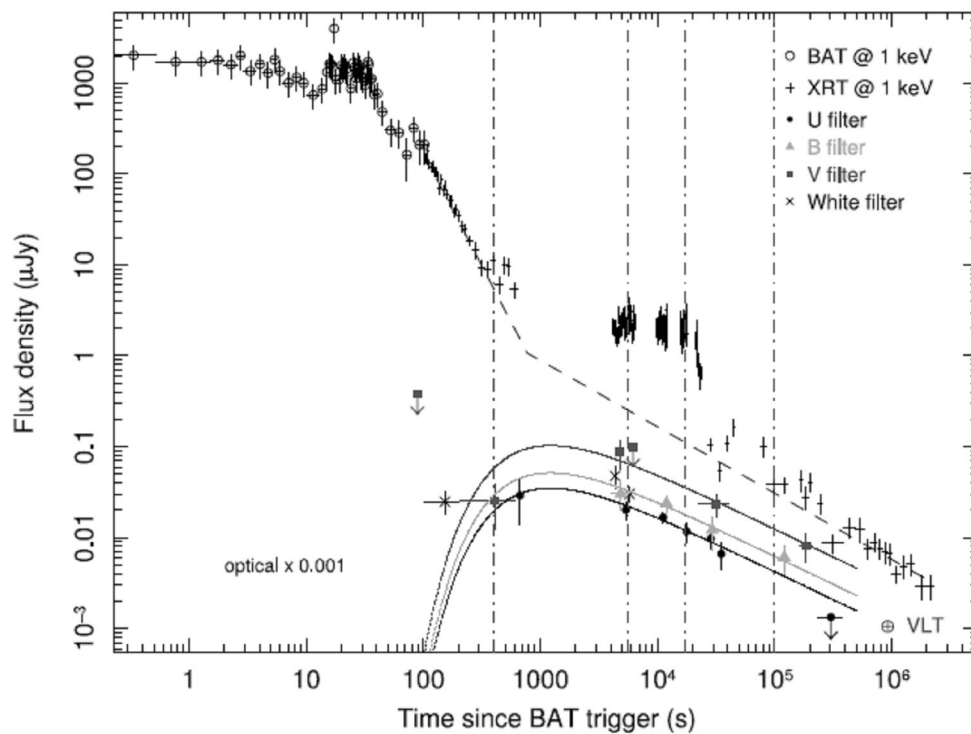
A Swift XRT adatainak vizsgálata alapján sikerült egy minden esetre érvényesnek tekinthető intenzitás-letfutási sémát konstruálni. A GRB röntgenutófényléseinek kanonikus sémája 3. ábrán látható.

A kanonikus fénygörbe legkorábbi, meredek csökkenést mutató szakaszát – amely legfeljebb néhány száz másodpercig tart – feltehetően a prompt GRB sugárzása okozza, később a csökkenés üteme megtörik, és néhány ezertől néhány tízezer másodpercig tartó, enyhén csökkenő szakasz következik. Ezt a GRB jetnek a környező anyagba ütközésekor keletkező erős lökéshullámfront sugárzása kelti, a lassú csökkenés oka a belső energiautánpótlás viszonylag hosszú fennmaradása. Amikor a GRB „belső motorja” kifulladás és megszűnik a belülről jövő energiautánpótlás, újabb töréspont következik. Ezután a lökéshullám sugárzás és tágulás miatt veszti el az energiáját.

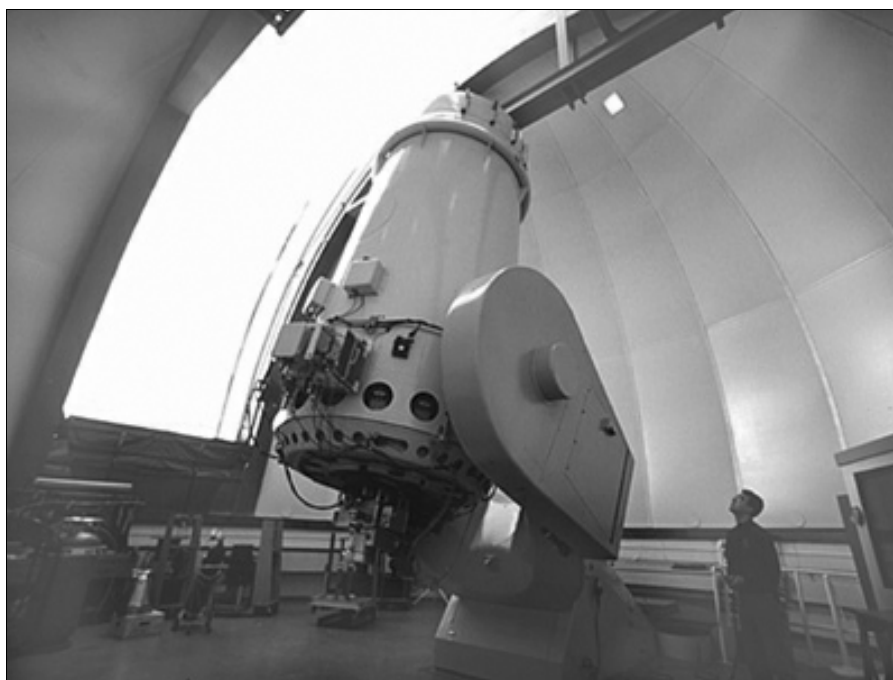
Az optikai utófénylések megfigyelésére csak a GRB BAT trigger után van lehetőség. Átlagosan 100 másodperc telik el addig, amíg az optikai teleszkóp a gammakitörés irányába fordul, és megkezdődik az észlelés. Ha az optikai utófénylés halvány és csak földi teleszkópokkal vizsgálható, újabb percek telnek el a riasztás kibocsátásával és a teleszkópok célra fordulásával (Troja et al., 2007).

Az időkéésés nem tüntethető el, viszont csökkenthető, ha automatizált földi megfigyelő rendszerek állnak rendelkezésre. A szinte azonnali optikai észlelés akkor lehetséges, ha a földi rendszer telemetriai kapcsolat révén folyamatosan követi a keringő űrszonda orientációját. Így a gammakitörés megfigyelésekor – ha az egyéb körülmények is megfelelőek – azonnal elkezdhető az optikai követés. Az ismertetett feladatra gyorsan mozgatható, több kamerából álló, együttesen legalább a BAT látómezejét lefedő optikai rendszerek a legalkalmasabbak, ha ezeket a Földön

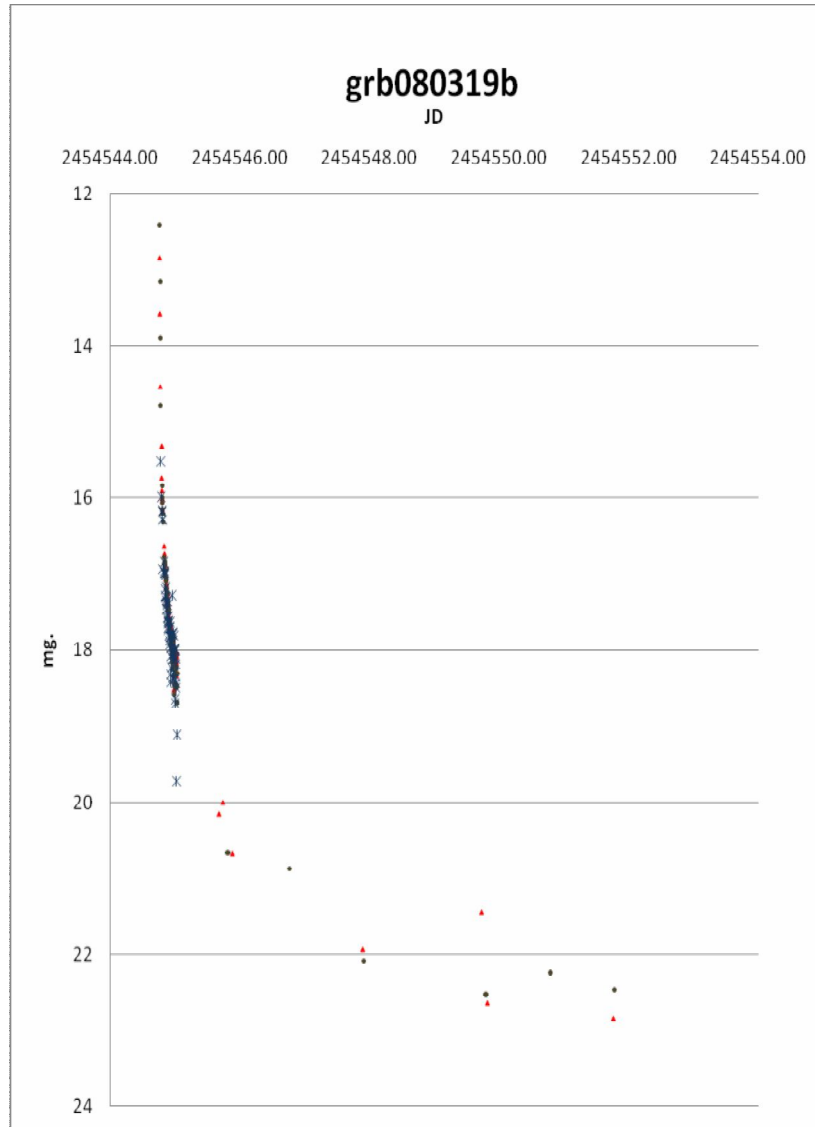
egyenletesen elosztva, jó asztróklimájú helyeken szerelik fel. Mivel a GRB-k optikai tranziensei a BAT trigger idején a legfényesebbek (6–15 magnitúdósak), a fenti célra speciálisan átalakított kis távcsövek vagy digitális fényképezőgépek a legalkalmasabbak. A GRB OT észlelésében rendszeresen részt vevő néhány program: Tarot (F), BOOTES (E), BART (CZ), ROTSE-III (USA), RAPTOR (USA), SuperLOTIS (USA), KAIT (USA), NEAT (USA).



4. ábra. A GRB070110 megfigyelt utófénylése a röntgen- és az optikai (legalsó görbék) tartományban (Troja et al., 2007).



5. ábra. A Palomar P60 automata teleszkóp.



6. ábra. A „szabad szemes” GRB fénygörbéje a szokásos ábrázolás szerint.

Az automata kisteleszkóp-hálózat alkalmas a kezdeti, gyors változások rögzítésére és a GRB koordinátáinak pontosítására. A gyors halványodás miatt ezek a hálózatok legfeljebb percekig vagy legfeljebb egy-két óráig képesek a GRB OT követésére. A pontosabb többszín-fotometriai mérésekre nagyobb teleszkópok bevonása szükséges. Egy-egy GRB OT megfigyelése érdekében viszont sokszor meg kell szakítani a nagy teleszkópokon folyó munkát, így célszerű olyan automatizált nagy teleszkópokat is munkába állítani, amelyek automatikusan végzik előre programozott tevékenységüket, de a riasztáskor perc nagyságrendű idő alatt a gammasugárforrás irányába fordulhatnak.

Az ilyen teleszkópokra az egyik példa a Mount Palomar Observatóriumban automatizált 1,5 méter tükörátmérőjű teleszkóp, mely a GRB láthatósága esetén R és I sávban akár 22-23 magnitúdós határfényességig képes követni a halványodó optikai utánpéldést (5. ábra). A halvány objektumok és a GRB-re jellemző nagy vöröseltolódás esetén a többszín-fotometria is felhasználható a z közelítő meghatározására vagy korlát megadására.

Nemzetközi együttműködés keretében az MTA Csillagászati Kutatóintézete részt vesz a P60 teleszkóppal készített GRB OT megfigyelések fotometriai feldolgozásában. A műszer teljesítőképességére és a GRB OT megfigyelésekre jó példa az eddigi legfényesebb optikai

utófénylést produkáló GRB080319b többszín-fotometriája, amelyet a Konkoly Obszervatóriumban a P60-as észlelések fotometriájával készítettünk (*6. ábra*).

Irodalom:

- Kelemen, J. 1997, Observation of the optical counterpart of the GRB970508 source. Information Bulletin on Variable Stars, 4496
- Klebesadel, R. W., Strong, I. B., Olson R. A. 1973, Observations of Gamma-Ray Bursts of Cosmic Origin, Astrophysical Journal, 182, L85
- Meszáros, P., Rees, M. J. 1997, Optical and long-wavelength afterglow from gamma-ray bursts, Astrophysical Journal, 476, 232
- Nousek, J. A., Kouvelitou, C., Grupe, D., et al. 2006, Evidence for a canonical GRB afterglow light curve in the Swift/XRT data. Astrophysical Journal, 642, 389
- Troja, E., Cusumano, G., O'Brien, P. T., et al. 2007, Swift observations of GRB070110: an extraordinary x-ray afterglow powered by the central engine, Astrophysical Journal, 665, 599