

Készítette:
Györffy Ákos:

A XX. századi csillagászat csonka koronája: gamma-kitörések kutatása

A XX. század csillagászai azelőtt soha nem látott méretű katalógusokat¹, rengeteg megfigyelést és megfigyelési módszert, egységes és egyben nyitott világképet, sokféle feladatokat ellátó műholdrendszereket, valamint számtalan – azelőtt nem is remélt minőségű és mennyiségű – megfigyelési eredményt szolgáltató távcsöveket, távcsőrendszereket hagytak utódaikra. Ezeket örökölték a következő csillagász generációk, azonban örökségül kaptak számos megoldatlan tudományos problémát, köztük a gamma-kitörések rejtélyét is. A következőkben a gamma-kitörésekről írok röviden, és a velük kapcsolatos észlelési technikákat és észlelési eljárásokat mutatom be, valamint kitérek részletesebben a GCN-re (Gamma-kitörés koordináló hálózatra (Gamma-ray burst Coordinates Network)).

A gamma-sugarak

A gamma-sugarak a radioaktív sugárzások egyik fajtája. Elektromosan semleges sugárzás. Nagyon rövid (1 nm-nél rövidebb) hullámhosszú elektromágneses sugárzás, azaz tulajdonképpen szemünkkel láthatatlan, nagyenergiájú, rövid hullámhosszú fény. A természetben is keletkezik, egyes atommagok is kibocsátják (akár a Földön is), és mesterségesen is kelthető. Egyik nem éppen barátságos keltési módja atombombák felrobbantása. További természetes módja gamma-sugárzás keletkezésének a csillagok, így a Nap légkörében végbemenő kisülések, valamint kettőscsillagok anyagcseréjét is kísérfheti – szakaszos, impulzusszerű vagy folyamatos – gammasugár-kibocsátás.

A gamma-kitörések felfedezése

A gamma-kitöréseket Klebesadel fedezte fel 1973-ban. Mint sokszor a csillagászat-történet során, ez a felfedezés is a véletlen műve volt. Klebesadel a nukleáris fegyverkísérletek kihullása során keletkező szórt sugárzást kutatta Ian Stronggal és Roy Olsonnal a Los Alamos-i Tudományos Laboratóriumban, miközben kozmikus eredetű gamma-felvillanásokra lett figyelmes. A hidegháború közepén az Egyesült Államok Védelmi Minisztériuma készségesen támogatta kutatási programjukat, hogy megbizonyosodjék, nem a szovjetek kísérleteznek-e. Az atomcsend egyezmény ugyanis megtiltotta a légkörben végrehajtott atombomba-kísérleteket (a földfelszín alatti robbantások betiltása csak az 1990-es években vált valósággá), de az egyezmény betartását valahogy ellenőrizni is kellett. Mivel az ilyesféle robbantást erős gammasugárzás kíséri, amelyet a levegő nem nyel el, a világűrbeli könnyedén észlelhetők (a Földről azért nehezebb észlelni, mert nyilvánvalóan a detektorok nem telepíthetők egy másik ország területére, de az ország területe a világűrbeli könnyen megfigyelhető). Nagyon sok gamma-felvillanást detektáltak, de meglepetésre nem a Föld irányából: a világűrbeli.

1973 óta több ezer természetes, világűrbeli eredetű gamma-felvillanást detektáltak, közel negyed évszázaddal később a látható fény-beli tartományban való azonosításuk is sikerült (1997-ben), sőt, keletkezés közben is megfigyeltek egy kitörést (1999-ben). A gamma-kitörés valamely gamma-forrás hirtelen felvillanása (pár másodperc alatti

kifényesedése). Napjainkban átlagosan egy felvillanást észlelnek naponta. Az 1. ábra egy gamma-kitörés tipikus lefolyását (azaz fénygörbáját) mutatja. A rendkívül gyors kifényesedést halványodás követi, amelyet újra és újra kísérhetnek újabb gyors kifényesedések és elhalványodások: azaz a gamma-sugárzás erőssége gyors, másodpercekig tartó változásokon megy keresztül. Felfedezésük után hamar felvetődött a kérdés, hogy milyen messze lehetnek, és vajon mi kelti őket.

Gamma-tartományban a kitörés körül nem látszik semmi, amihez kapcsolni lehetne a kitörést. Ha sikerülne más hullámhosszakon találni valamit, ami a kitöréssel fizikai kapcsolatban áll, esetleg annak a valaminek a távolsága mérhető lenne. A távolság ismerete segíthet megállapítani a kitörés tényleges energiáját, amely elvezethet a jelenség fizikai okainak megértéséhez.²

Ahhoz, hogy röntgenfényben, ultraibolyában vagy esetleg látható fényben megfigyeljük a gamma-kitörést, tudni kell, hogy az ilyen tartományokban dolgozó távcsöveket hova irányozzuk az égbolton. Ez azonban nem egyszerű feladat, a gamma-távcsövek ugyanis kezdetben nem tudtak irányt mérni! Csak a felvillanás időpontját és fénygörbáját vették fel.

Sokáig az 1970-es években alapított Bolygóközi Hálózat (InterPlanetary Network) volt a legalkalmasabb módszer irányadatok szerzésére. A Naprendszerben messzire kiküldött műholdakat, melyek a Vénusz és a Mars pályája között helyezkedtek el, gamma-detektorokkal látták el. Gamma-kitörés jelentkezésekor a műholdak pozíciói és az észlelési idők különbségei alapján egyszerű trigonometriával kiszámítható a kitörés iránya (2. ábra). Nagy hátránya volt, hogy az adatoknak a Földre történő továbbítása óráig tartott (pár óra alatt az optikai tartományban észlelhető utófénylés húsz magnitúdó alá halványodott, így az akkori távcsövekkel már nem volt észlelhető). A Bolygóközi Hálózat legnagyobb sikerét 1979. március 5-én érte el, amikor tizenegy műhold egyszerre észlelt egy kitörést a Nagy Magellán Felhő egyik szupernóva-maradványából. Kiderült azonban, hogy ez nem egy tipikus gamma-kitörés volt.

A CGRO (Compton Gamma-Ray Observatory) műholdat kifejezetten gamma-kitörések tanulmányozására fejlesztették ki. 1991-től 2000-ig működött. Nyolc nagy látószögű detektorral szerelték fel, hogy a tér minden irányába érzékeny legyen, mivel a korábbi kutatások szerint úgy vélték, hogy a kitörések egyenletesen oszlanak el az égen (ami azóta bebizonyosodott). A gamma-detektor által érzékelt sugárzás erőssége koszinuszosan függ a detektor felületének normálvektora és a sugárzás iránya által bezárt szögtől. Az egyenletesen elosztott nyolc detektor közül három vagy négy érzékeli a sugárzást, de mindegyik más intenzitású gamma-sugárzást lát, mert más szögben esik rájuk a sugárzás. Így megállapítható a kitörés iránya. A hibanégszög sajnos elég nagy a gamma-sugárzás nehéz detektálhatósága miatt.

Kétségtelenül a CGRO volt az eddigi legsikeresebb műhold a gamma-kitörések tanulmányozásában. Észlelések százait szolgáltatta, melyekből a gamma-kitörések következő fontos tulajdonságai vonhatók le:

- Nem galaxisunkból, és nem is közeli galaxisokból származnak (mivel nem gyakoribb előfordulásuk a mi galaxisunk egyenlítői síkjában vagy közeli galaxisok irányában). A 3. ábra 2704 darab gamma-felvillanás pozícióját mutatja, amelyet a CGRO BATSE műszere detektált. Az ábrán intenzitásuk véletlenszerűsége is jól látszik.
- Mindig fluktuálva jelentkeznek (azaz intenzitásuk gyors ütemben ingadozik; a fluktuáció karakterisztikus ideje néhány milliszekundumtól néhány tizedmásodpercig tarthat, ami adott esetben kisméretű forrásra, esetleg neutroncsillagra utalhat).
- Időtartamuk alapján három csoportba sorolhatók: a másodperc törtrészéig tartó felvillanások (röviddek), negyven-hatvan másodpercnél hosszabbak (hosszúak), valamint öt-hét másodpercesek (közepesek). Az utóbbi csoportot Bagoly Zsolt, Mészáros Attila, Horváth István, Balázs Lajos és Vavrek Roland fedezte fel 1998-ban. A 4. ábrán látható a különböző hosszúságú gamma-kitörések gyakorisága.
- Feltételezhetően nem gömbszerűen, a tér minden irányába sugároznak, hanem szűk nyalábokban bocsátódnak ki.

A CGRO-hoz kapcsolódó egyik nagy eredmény, hogy 1997-ben első ízben sikerült azonosítani egy gamma-felvillanást a látható fény tartományában röviddel a felvillanást követően. Ekkor vöröseltolódást is mértek az utófénylésen. A kitörés távolságára (a Hubble-törvény alapján) több milliárd fényévet kaptak. Az azóta azonosított utófénylések vöröseltolódás-vizsgálatai is hasonlóan nagy távolságokat szolgáltatottak (pl. az 1999. január 23-ai felvillanás esetében tíz milliárd fényév adódott). A távolságból számítható a kitörésben felszabadult összes energia mennyisége. Ez alapján óriási energia adódott, ami a csillagászok számára értelmezhetetlenül nagyra bizonyult. Az optikai fénygörbéken megfigyelhető fényességugrás azonban arra utalt, hogy az energia nem minden irányba egyenletesen sugárzódik ki, hanem csak egy vékony nyalábban, így a valódi energia mennyiségét más modell alapján, gömbszimmetria helyett nyalábokkal kell számolni. A gamma-felvillanásban felszabaduló energia mennyisége így kisebbnek adódik, ami már értelmezhető elméletileg. Az 5. ábra egy gamma-kitörés illusztrációja; jól látszik rajta a két, ellentétes irányba kilövellő jet.

A gammakitörések színképi elemzése is alátámasztja azt a feltételezést, hogy nyalábokban bocsátódnak ki. Néhányuk valószínűleg Ic típusú szupernóva, más néven hipernóva (amelyben körülbelül harmincszor több energia szabadul fel, mint egy átlagos szupernóvában).

Technikai kivitelezés

A gamma-csillagászatban a látható tartományban használatos távcsövektől gyökeresen különböző észlelési eszközökre van szükség, mivel nagy frekvenciájuk miatt a gamma-sugarak fénytörést vagy fényvisszaverődést létrehozó optikával nem képezhetők le (a közönséges távcsövek ezek alapján működnek). A rádióhullámok nagy parabola-tükrökkel (amelyek akár 100 méter átmérőjük is lehetnek), és az infravörös, látható fénybeli, ultrabolya hullámok kisebb parabolid-, hiperboloid tükrökkel és lencsékkel gyűjthetők és fókuszálhatók. A röntgentartománybeli fénysugarakat már nehezebb összegyűjteni, mert ha nagyon nagy szögben érkeznek az anyagra, elnyelődnek – ezért bonyolult, nehézfémekből álló olyan tükrörendszereket alkotnak meg, amelyeknél a röntgensugár csak néhány fokban érkezik az első tükröre, és tükrök sorozatával fókuszálják a képet. Gammasugaraknál ez sem segít: bármilyen szög alatt is érkezik a tükröre a gammasugár, elnyelődik az anyagban.

A CGRO-n a gamma-sugarak észlelésére szikrakamrákat alkalmaztak. Ennek működési elve röviden a következő: neongázzal töltött kamrában a gamma-fotonok elektron-pozitron párokat keltenek, amelyek szikranyomot hagynak a kamrába helyezett feszültség alatt lévő rácson. Ezeket a szikravonalakat eltérő irányokból lefényképezve a két nyom szögfelezőjeként megkaphatjuk a belépő gamma-foton irányát; sajnos (a sugárzás tulajdonságaiból kifolyólag) alacsony hatásfokkal és csupán foknyi pontossággal. A CGRO-n nyolc ilyen szikrakamrát alkalmaztak, lefedve szinte a teljes eget (kivéve a Föld, Nap, Hold irányát, amelyeket „megvakították” volna a rendszert). A kapott pozícióadatok akár 20° pontatlanságot is magukban hordozhatnak.

A korábbi műholdak nagy, 5° - 20° -os hibanégyzete annak tudható meg, hogy a kiértékelő programok „ideális hatás fizikával” számolnak a gyorsaság érdekében. Ez részint az alkalmazott egyszerűbb (és ezért gyorsabb) számítási eljárások miatt van így, másfelől a gamma-sugárnak – esetenként - a Föld légkörén való szóródása, más műholdról való visszaverődése miatti zavaró hatásaitól eltekintenek a kiértékelés során. De csak így válik lehetségessé az, hogy néhány másodpercen belül a Földön legyenek az adatok.

A gamma-kitöréseket először a műholdakon elhelyezett gamma-detektorok észlelik. Ezeket az információkat el kell juttatni a Föld sok pontján elhelyezett távcsövek egyikéhez. Mivel a gammakitörés néhány másodpercig tartó jelenség, az utófénylés pedig percek-órák alatt elhalványul, a hatékony és gyors információtovábbítás a sikeres, sok hullámhosszon történő észlelés kulcsa.

Két eljárást fejlesztettek ki az utófénylés gyorsabb megtalálására:

(1) A hibanégyzést csökkentése azáltal, hogy a pozícióadatokat szolgáltató műhold nagyobb hullámhosszokon, röntgen- vagy távoli-ultraibolya tartományban észlel, ahol elég intenzíven sugároz még a forrás. A röntgensugárzás már viszonylag jól fókuszálható, így építhetők – a közönséges távcsövekhez hasonló – röntgentávcsövek (így pár szögperces pontosság érhető el). A Beppo-SAX műhold röntgentartományban érzékeny, így egy-két óra alatt szögperc pontosságú koordinátákat szolgáltat a gamma-kitörésről. Az ALEXIS távoli-ultraibolya tartományban észlelő műhold pedig még rövidebb idő alatt is képes erre.

(2) Az utófénylés keresésére gyors mozgató, nagy látómezejű távcsövek alkalmazása, amelyek nagy égrészt képesek feldolgozni egyszerre, ilyen például a ROTSE (Robotic Optical Transient Search Experiment) $2,6^\circ \times 2,6^\circ$ látómezejű távcsöve, amely 8 másodpercenként képes egy-egy látómezőnyi égrészt lefényképezni, és állványán igen gyors motorok mozgatják (ld.: www.rotse.net weboldalon megtekinthető videófájl). Az 1. képen ez a távcső látható.

A ROTSE-t a jövőben más kutatási területekre is ki szeretnék terjeszteni. A gammakitörések megfigyelésének holtidejében automatizált égbolt felméréseket terveznek, így állandóan figyelhetnek majd néhány érdekes célobjektumot, másrészt általános lefedettséget kapnak az egész égre. Elsődlegesen korábban ismeretlen változócsillagok ezreinek tanulmányozását, aktív galaxismagok viselkedésének megfigyelését, flercsillagok, röntgensugárzó kettősök és halvány gamma-ismétlők kutatását tervezik. Ez biztosítja a rendelkezésre álló erőforrások maximális kihasználtságát.

Mivel a telehold mérete az égen $0,5^\circ$, rossz esetben akár egy akkora égterületet kell átvizsgálni az optikai utófénylés megkeresése érdekében a látható tartományban, amely a telehold átmérőjének a 40-szeresére terjeszkedik ki két irányban is! Ez az égbolt területének

4%-át jelenti – de pl. a célra legalkalmasabb, a ROTSE nevezetű távcső is csak az ég teljes területének 0,02%-át tudja befogni. Az arányok szélsőségesen kiegyenlítetlenek, ezért kezdte, a CGRO működése alatt csak kevés sikeres utófény-észlelés volt. A helyzetet a SWIFT műhold segítette, amelyet 2004-ben indítottak útnak és a várakozások szerint 2020-ig fog működni. Pozícióadatainak pontossága 1', ami a telehold átmérőjének 1/30-a. A legtöbb távcső látómezejének mérete nagyobb, mint néhány ívperc, tehát ma már a pozícióadatok problémája megoldódott. A mért pozícióadatot azonban el is kell juttatni az észlelőkhöz.

Akárcsak a SWIFT előtti időkben, ma is a kulcsfontosságú pont a pozícióadatok gyors eljuttatása az észlelőkhöz. Ezért hoztak létre a GCN-t, amely a BACODINE-ből nőtt ki.

A BACODINE-t Scott Barthelmy, aki a NASA Goddard Space Flight Center-ben dolgozott, munkatársaival megalapította 1991-ben a BACODINE (BATse COordInates DIstribution NEtwork) hálózatot. Az első lépést a technikai fejlesztésben a CGRO jelentette: a kutatók akár 4-5 másodperccel az után, hogy gamma-fotonok érték a CGRO szikrakamráit, pozícióadatokat kaphattak a kitörésről. Ez által gyorsan nekiláthattak annak optikai tartományban való azonosításához. A 7. ábrán látható, hogy miként jutnak el a pozícióadatok a műholdtól a felhasználókig. A pozícióadatok továbbítása mellett egyidejűen kötetlen elektronikus levelezést biztosít a felhasználóknak.

1991 óta további műholdak csatlakoztak a hálózathoz (HETE 2, INTEGRAL, IPN, RXTE-PCA, RXTE-ASM, BeppoSAX, NEAR-XGRS, Wind-KONUS és ALEXIS, utóbbi az ultraibolya tartományban dolgozik). 2000-ben a CGRO-t üzemén kívül helyezte a NASA, a hálózat nevét ezért a sokkal általánosabb GCN-re (Global Coordinate Network) változtatták. Akárcsak a BACODINE-nak, a GCN-nek is a kitörések keletkezésük közben történő megfigyelése az elsődleges célja. A gammakitörésről a műholdak által szolgáltatott pozícióadatokat másodpercek alatt eljuttatják a földi észlelőkhöz, és aki a Föld éjszakai oldaláról távcsövét a megfelelő helyre tudja irányozni, az máris elkezd észlelni a gammakitörés helyét. Szerencsés esetben megtalálja a megfelelőjét, amely pillanatok alatt fényesedett ki és percek-órák alatt halványul el. Az ilyen, ún. optikai utófénylésekből lehet többet megtudni a gammakitörések természetéről, ezért ez egy igen fontos lépés a tudományos megismerésben.

A GCN egy olyan szolgáltatás, amely

- földi és égi műszerektől fogad gamma-kitörés riasztásokat, és világszerte továbbítja őket a kutatóknak másodpercek alatt interneten, e-mailen vagy pageren keresztül. Így automata távcsövek közvetlen irányítása lehetséges értékes másodpercek nyerve a gyorsan halványuló utófénylés megfigyelésében.
- elektronikus levelezési listát biztosít az aktuális észlelési eredmények közzétételére, növelve a szervezetbe bejelentkezett kutatók megfigyeléseinek hatékonyságát (7., 8. ábra).

A következő táblázat a GCN általszolgáltatott GRB koordináták továbbításának módjait mutatja:

időkésés	eljárás	megjegyzések
0,1-2,0 mp	internet socket	ingyenes, gyors és megfelelő automata eszközök számára,

(USA)		CGN weboldalára bármikor bármely weboldal csatlakozhat
5-30 mp	e-mail	automata weboldallal nem rendelkezők számára bármely hálózati címre, automata weboldalak tudják elemezni, így automata távcsövek irányíthatók
60-180 mp	pager	RA, Dec, UT, intenzitás kijelzése a pageren
60-80 mp	pager – rövid	RA, Dec kijelzése a pageren
5-180 mp	pager – csak tárgy	RA, Dec kijelzése a tárgysorában

A GCN jövőbeli céljai:

- maximalizálni a hatékonyságot
- minimalizálni a követő megfigyeléseket végző csoportok nehézségeit
- minden újonnan fellőtt, és gamma-kitörések kutatására alkalmas műholdtól pozícióadatokat nyerni (ld.: ALEXIS műhold)
- gamma-kitörések megfigyelésének holtidejében egyéb kutatási tevékenységeket is folytatni
- a hálózat bővítése további műholdak bekapcsolásával.

A GCN világszerte amatőr csillagászok ezreinek adja meg a lehetőséget, hogy részt vehessenek a legújabb csillagászati kutatásokban, észlelési eredményeikkel hozzájárulhassanak egy óriási lehetőségekkel bíró, jól szervezett, világméretű kutatócsoport munkájához, melynek saját maguk is aktív résztvevői lehetnek.

Láthatjuk, hogy a huszadik században végbement ugrásszerű technológiai fejlődés (internet, műholdhálózatok, automata teleszkópok, ...) nagyot lendített a csillagászati kutatások műszerezettségén. *Gyakran éppen a csillagászati kutatások igényei vezettek olyan eszközök kifejlesztéséhez, amelyek ma már a mindennapi élet részei: pl. a kvarcóra és a mikroprocesszor.* Ilyen lehetőségek mellett jó esélyük van századunk csillagászainak arra, hogy megtalálják a megoldást a gamma-kitörések még megoldatlan problémájára is.

Sikeres utófényészlelések

A „Gammakitörések felfedezése” c. fejezetben már említettem, hogy először a CGRO által felfedezett egyik gammakitörés optikai utófényét sikerült észlelni. Egy másik utófénylés látható fénybeli fénygörbéjét mutatja be a 9. ábra.

1997 óta több utófénylést sikerült megfigyelni. Eleinte (a CGRO felbocsátása előtt) csak óriástávcsövekkel volt ez lehetséges, mert amikor a kutatók megkapták a pozícióadatokat a Bolygóközi Hálózattól (ami órákba telt), addigra az utófénylés már nagyon elhalványult. A GCN-nek köszönhetően később kisebb távcsövekkel, többek között Magyarországról is sikerült azonosítani egy-két gamma-felvillanást optikai tartományban. (Kelemen János az MTA KTM CSKI munkatársa és Kereszty Zsolt amatőr csillagász.)

Harminchárom év alatt több ezer gamma-kitörést észleltek, azonban eddig még egyikük forrását sem sikerült konkrétan azonosítani (az SN 1998bw szupernóva és a közelében felvillant GRB980425 gamma-kitörés kapcsolata valószínű, de nem bizonyított), és néhány tucatnál tudjuk, hogy melyik galaxisban robbant (ez alapján lehetett azok távolságát mérni).

Végül 1999. január 23-án sikerült megfigyelni nem csak az utófényt, de magát a gammakitörés keletkezését is látható fényben felfedezésük huszonhatodik évében (azóta sem). 1997 óta mintegy tucatnyi kitörést sikerült a látható fény tartományában azonosítani, de mindegyiküket csak a kitörés utáni, halványodó fázisban. A 3. képen, illetve a 9. ábrán látható az 1999. jan. 23-i felvillanás pontos helye. A kitörés kezdete után 22 másodperccel már ráálltak a célobjektumra. Az egész jelenség 110 másodpercig tartott, és optikai tartományban 8,9 magnitúdó volt a maximális fényessége, azaz akár egy binokulárral is észre lehetett volna venni, ha tudjuk, hol keressük.

A gammakitörések elméleti háttere

Úgy tűnik, hogy a relativisztikus tűzgolyó modell (Mészáros és Rees, 1993) magyarázatot adhat a gamma-kitörések keletkezésére. Eszerint valami nagy energiájú robbanás belerobban egy csillag anyagába, és amikor az szétrepül tűzgolyóúként, erősen fókuszálódik, ezáltal nyalábokat hoz létre. Eközben ide-oda pattogó lökéshullámok jelennek meg az anyagban, amelyek létrehozzák a gammatartományban megfigyelt gyors fluktuációkat. Utána az egész robbanás tágul és közben hűl, létrehozva az optikai tartományban megfigyelt halványodást. A gammakitörések megfigyelt energiája a szupernóva-robbanások 10-100-szorosa – pedig egy szupernóvában is fel tud szabadulni annyi energia, mint amennyit egy galaxis 100 milliárd csillaga egy év alatt elsugáúroz.

Hiányossága azonban a Mészáros-Rees – modellnek, hogy a tűzgolyó eredetét továbbra is tisztázatlanul hagyja és a gamma-kitörés keletkezésére számos lehetőséget enged meg. A modell szerint valami (talán egy röntgensugárzó neutroncsillag) hirtelen óriási energiát bocsát ki nagyon kicsi térfogatban. Az így létrejött tűzgolyó felszíne közel fénysebességgel tágul (anyaga fotoionizált plazma), miközben a belsejében sűrűlő plazma nagyon erős mágneses teret hoz létre. A tűzgolyó töltéssel rendelkező részecskéi a mágneses pólusokon nyalábokban sugárzódnak ki. (A 10. ábra a robbanás középpontjából kilövellő jeteket mutatja az esemény kezdetétől számított első másodpercben.) Az elmélet szerint akkor látunk gamma-kitörést, ha egy ilyen nyaláb éppen felénk fordul. A modell szerint a gamma-felvillanás a tűzgolyót kibocsátó objektumtól távol keletkezik. Úgy jöhet létre, hogy

- a tűzgolyó által kibocsátott kozmikus sebességű protonok eltérő sebességekkel haladnak (a sugár önmagával torlódik),
- vagy ha a kilövellt anyag csillagközi gázba, -porba ütközik.

Egyes elméletek szerint gyors forgású, nagyon nagy tömegű csillagok, amelyek egyetlen hatalmas összeomlásban végzik életüket (ezért kollapszárok is nevezik őket) is lehetnek a gamma-kitörések kiváltó okai héliumból álló magjuk összeroskadásakor. Gyors forgásuk szükséges egy elegendően nagy tömegű akkréciós korong kialakításához, amely képes létrehozni a nyalábokat.

Nagyon komoly gyanúsítottak a kettős neutroncsillagokat (hét ilyen ismerünk a Tejútrendszerben és egyet egy tíz millió fényévre lévő galaxisban). Ezek nagytömegű kettőscsillagokból alakultak ki, és a két neutroncsillag egymás körül keringve sok perdületet veszít, mert gravitációs hullámok formájában energiát sugároznak ki. Emiatt közelebb kerülnek egymáshoz, mígnem végül összeütköznek. Ők szintén lehetnek a gammakitörések okai.

Végezetül az is elképzelhető, hogy a különböző hosszúságú kitörésekért más és más csillagászati események a felelősek. A kitörések okainak tanulmányozása ma még egyáltalán nem lezárt fejezet.

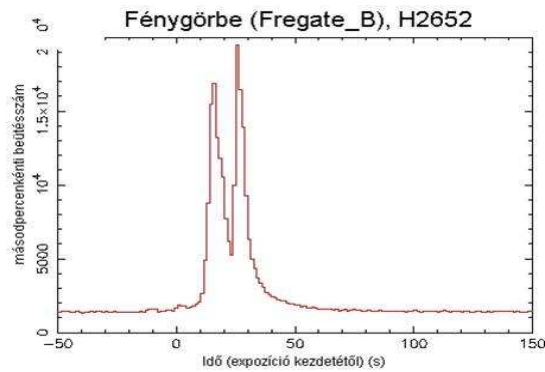
Köszönetnyilvánítás. Köszönöm Dr. Csizmadia Szilárdnak, hogy többször átnézte munkámat, és új információkkal segített friss adatokra alapozott pályázatot írnom, valamint köszönet Juhász Tibor tanár úrnak, aki átolvasta dolgozatomat, és felhívta figyelmemet jó néhány hibájára.

Jegyzetek

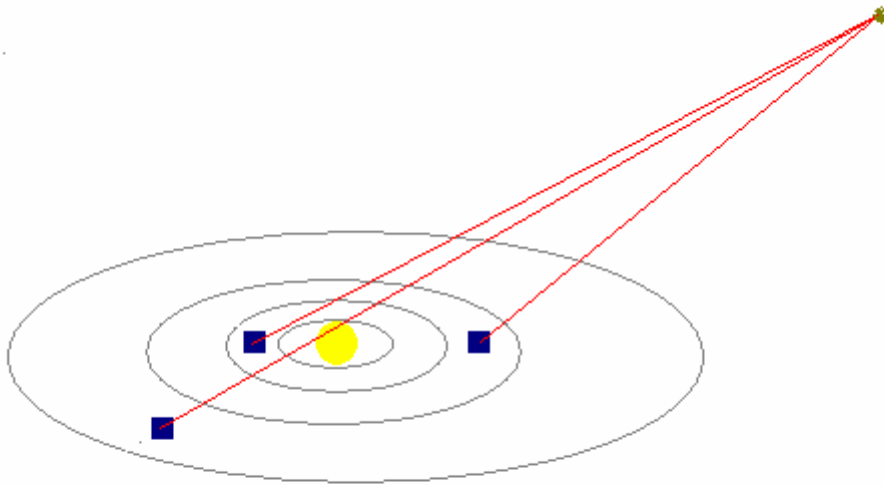
- 1) Katalógusokon a csillagászatban olyan listákat értenek, amelyek felsorolják az égitestek nevét vagy jelölését, égi koordinátáit, és esetenként egyéb adatokat (pl. fényesség, színeképtípus, méret, stb.) is megadnak.
- 2) Ha ugyanis egy égitest E energiát sugároz ki 1 sec alatt a tér minden irányában, ez az energiamennyiség tőle d távolságban egy $4\pi d^2$ felületű gömbön oszlik el. Ezért mi, az észlelők az égitesttől ilyen távolságba egy másodperc alatt, egységnyi felületű érzékelővel csak a teljes energia $I = E / 4\pi d^2$ – nyi részét észlelhetjük. (I neve: intenzitás.) Ha nem tudjuk a távolságot, a mért mennyiséget (az intenzitást) sem számolhatjuk át az égitest által kisugárzott energiává.

Irodalom

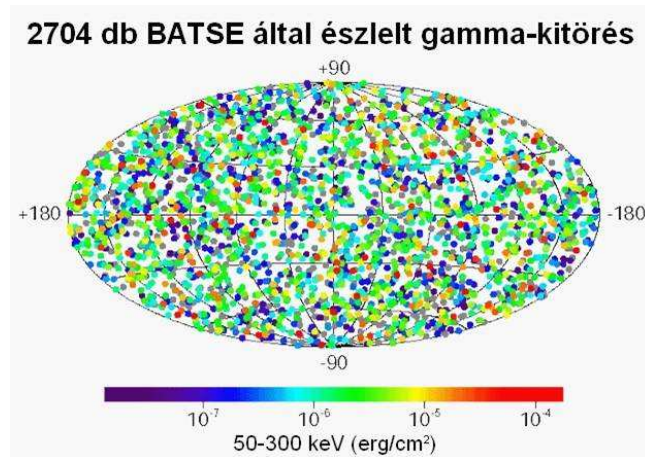
Kulin György-Róka Gedeon (szerk., 1980): A távcső világa. Gondolat, Budapest.
Almár Iván-Both Előd-Horváth András (1996): SH atlasz, Űrtan. Springer, Budapest.
Csillagászati kislexikon -A Tudás könyvtára sorozat (1998): Fiesta-Saxum.
<http://www.rotse.net> (2007. 02. 07.)
<http://www.rotse.net/summary>
(2http://lheawww.gsfc.nasa.gov/docs/gamcosray/legr/bacodine/gcn_main.html(2007. 02. 07.)
http://lheawww.gsfc.nasa.gov/docs/gamcosray/legr/bacodine/gcn_describe.html(2007.02. 07.)
http://lheawww.gsfc.nasa.gov/docs/gamcosray/legr/bacodine/brief_describe.html(2007.02. 07.)
<http://lheawww.gsfc.nasa.gov/docs/gamcosray/legr/bacodine/motivation.html>(2007. 02. 08.)
http://www.supernova.hu/ujhirek/januar/grb_opt/ (2007. 02. 07.)
<http://agenda.cern.ch/fullAgenda.php?ida=a032756>(2007. 02. 07.)
<http://arxiv.org/abs/astro-ph/9905217>(2007. 02. 07.)
<http://cgwp.gravity.psu.edu/events/SrcSimDA/slides/Kobayashi.pdf>(2007. 02. 08.)
<http://www.physics.unc.edu/~mnysewan/dbt/statement.html>(2007. 02. 09.)
<http://astro.uchicago.edu/home/web/reichart/grb/228.html>(2007. 02. 08.)
<http://astro.uchicago.edu/home/web/reichart/grb/grb980425.html>(2007. 02. 08.)



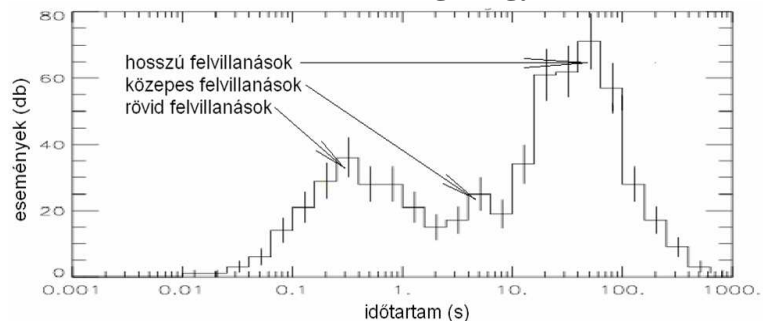
1. ábra: Egy gamma-kitörés fénygörbéje. Vízszintesen az idő másodpercekben, függőlegesen az 1 sec alatt beérkezett gamma-fotonok száma.



2. ábra: Ezen a nem méretarányos ábrán a bolygóközi hálózat működését lehet tanulmányozni. A sárga kör közepén a Napot jelképezi, körötte kifelé a fekete ellipszisek a Merkúr, a Vénusz, a Föld és a Mars bolygók pályáját. Ha egy gamma-forrás (balra fenn a mérgezőöld korong) kitör, a tőle különböző távolságban elhelyezkedő műholdakat különböző időpontokban éri el a kitörés fénye (a tőle távolabbat később). Némi geometriával a kitörés helyzete ebből kiszámítható.



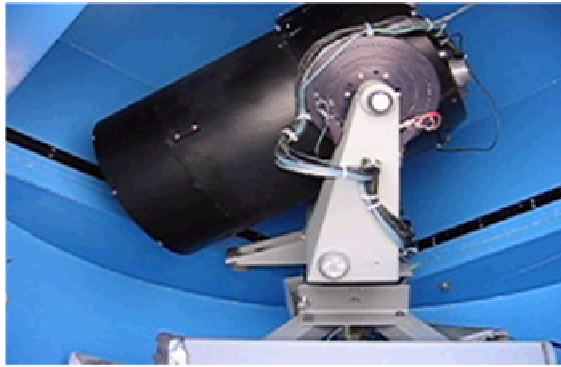
3. ábra: a BATSE által észlelt gammakitörések eloszlása az égbolton. A különböző színek különböző erősségű kitöréseket jelentenek. Nem látható, hogy valamire cső,ósodnának a kitörések_ eloszlásuk az égen egyenletes.



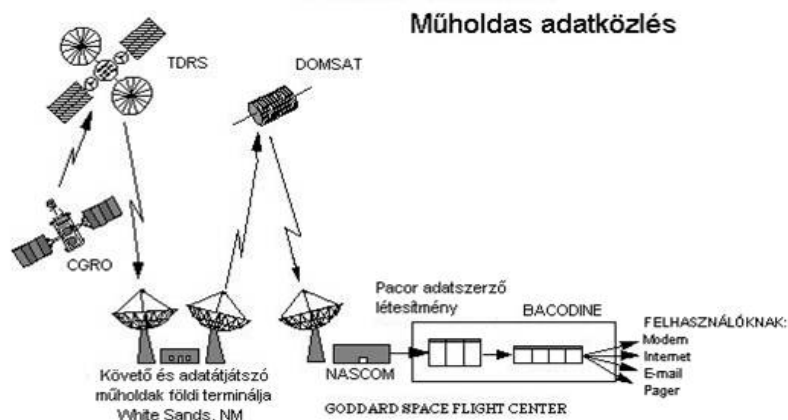
4. ábra: A gammakitörések időtartamának eloszlása. Vízszintes tengelyen – logaritmikusan – a kitörés időtartama, függőlegesen pedig az található, hogy az adott időtartamú kitörésből hány darabot figyeltek meg.



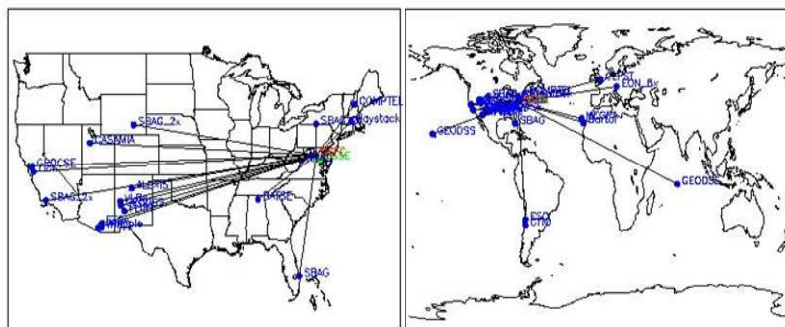
5. ábra: Fantáziarajz egy gammakitörésről. A csillagos égi háttér előtt egy gammakitörésben lévő objektum, amelyből egymással ellentétesen két nyalábban sugárzódnak ki a gamma-sugarak.



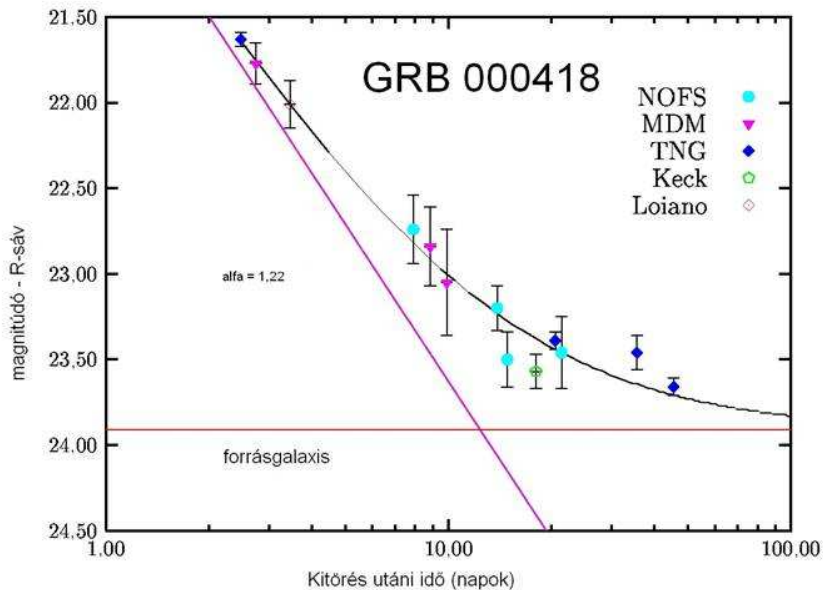
1. kép: A ROTSE távcső (zárt állapotban, a kupola nincs nyitva).



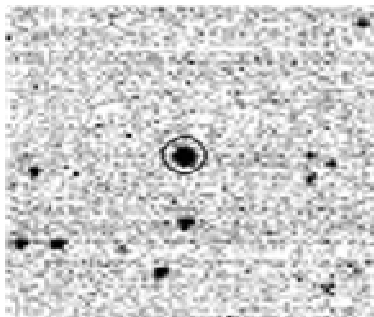
6. ábra: a BACODINE hálózat működése. A CGRO-ról érkező adatokat először a TDRS kommunikációs műholdra küldi. A TDRS a Földre sugározza az adatokat, majd a DOMSAT műholdon keresztül jut el a Föld egy egészen más pontjára az információ az éppen szolgálatos tudósokhoz. Itt az adatokat gyorsan megfelelő formátumra alakítják, és pár másodpercen belül szétküldik e-mailen, stb. a felhasználóknak.



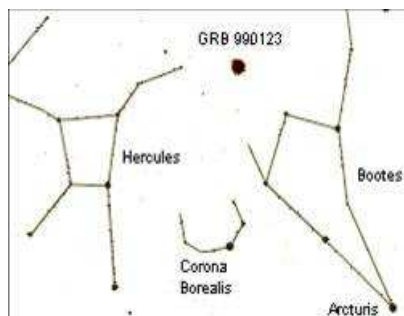
7-8. ábra: Az ábrák a GCN hálózatának 1995-ös állapotát mutatja az Egyesült Államokban, illetve világszerte.



2. kép: a 2000. április 18-án feltűnt gammakitörés fénygörbéje az optikai (látható fény) tartományban. Vízszintesen az idő a kitörés kezdetétől számítva, függőlegesen a kitörés utófénylésének fényessége. A galaxis, amelyben robbant, kb. 24 magnitúdós, ha ez alá halványodik az utófény, többé már nem választható el a galaxis fényétől- A ferde vonal azt jelentené, hogy kezdten hogyan halványodott a kitörés. A folytonos vonal a különböző szimbólumokkal jelölt távcsövek mérési eredményeire illesztett görbe. Jól látszik, hogy a kitörés után a Föld legnagyobb távcsöveivel még észlelhető egy-egy közeli gammakitörés utófénye, de csak nagy hibával.



3. kép: az 1999. január 23-i kitörés látható tartománybeli képe. A zajos háttéren az elnyúlt alakzatok csillagok, a bekeretezett objektum pedig a gammakitörés optikai utófénylése.



9. ábra: az 1999. január 23-i kitörés az égbolton a Herkules és az Ökörhajcsár (Bootes) csillagképek határán történt.



**10. ábra: lökéshullámok egy gammakitörésben a kitörés utáni első másodperc végén.
Elméleti modell.**