

A gamma bursterek

A felfedezés

Az 1960-as évek a csillagászat történetébe minden bizonnyal a „Nagy Felfedezések Évtizede”-ként fognak bekerülni. Ekkor fedezték fel a kvazárokat, a pulzárokat (neutroncsillagokat), a 3 K-es háttérsugárzást (amin az Ősrobbanás elmélete alapul), és ekkor fedezték fel a talán mindmáig legréjtélyesebb csillagászati jelenséget a gammafelvillanásokat.

A gamma burstök felfedezése tényleg a hatvanas években történt, de — részben a dolog katonai vonatkozásai miatt bevezetett titkosítás következtében — ekkor még nem sokan szereztek tudomást a dologról. A szigorú hírzárlaton csak ritkán jutott keresztül információ. Máig is emlékszem arra a napra — középiskolás diák, vagy talán már egyetemista lehettem —, amikor az osztrák rádió adását hallgatva a következő meglepő hírt hallottam: „Amerikai jelentések szerint az Indiai Óceánon, Madagaszkártól észak-keletre nukleáris robbanás történt egy szovjet atomtenger-alattjárón”.

A hír természetesen óriási feltűnést keltett. Napokig izgatottan lestük az újabb fejleményeket, de hiába. A hír valótlannak — habár nem alaptalannak — bizonyult. Újabb említés nem történt a dologról, és az egész ügy hátterére is csak hosszú évek múltával derült fény.

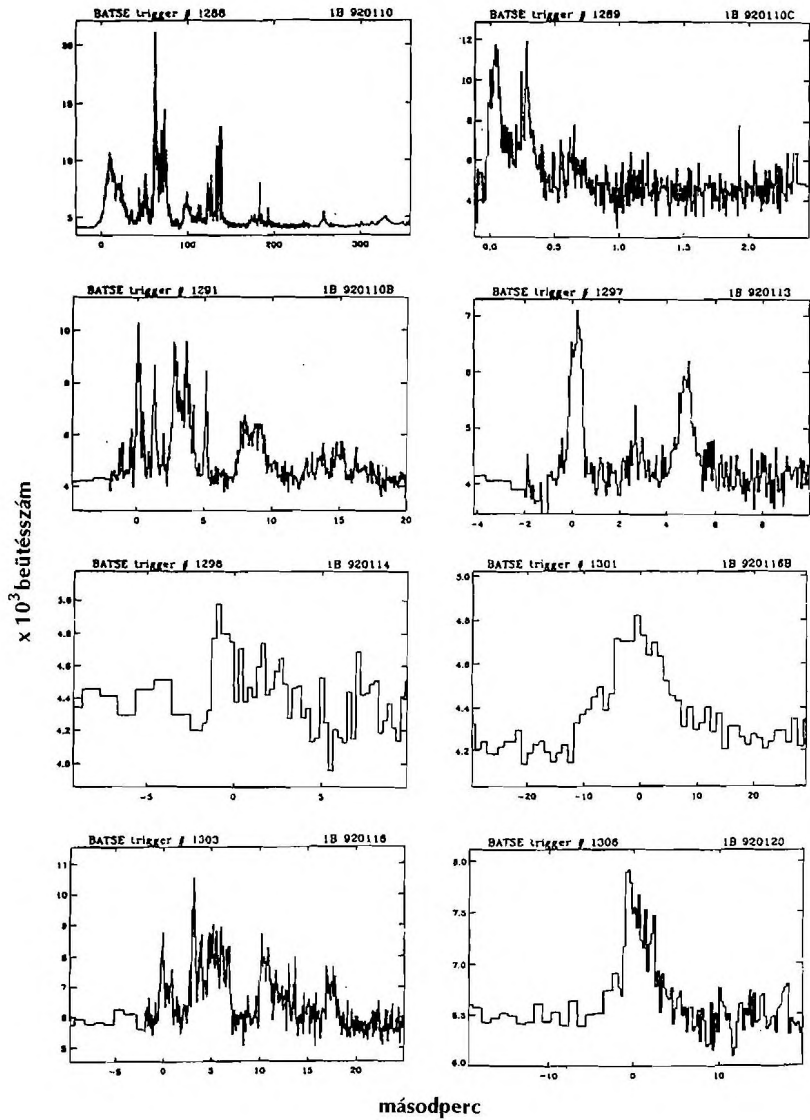
Az történt, hogy amikor az amerikaiak egyezményt kötöttek a szovjetekkel a nukleáris kísérletek betiltásáról, célszerűnek látszott a dolgot ellenőrizni. Hogy Szibéria legtávolabbi vidékein se lehessen észrevétlenül nukleáris robbantást végrehajtani, az amerikaiak a következő rendszert dolgozták ki: Egy viszonylag egyszerű, és könnyű szerkezet képes jelezni a nukleáris robbanásoknál fellépő hirtelen gammafelvillanásokat. Ha ezt kiegészítik egy nagyon pontos órával, akkor az így kialakított könnyű (ezért olcsó) mestereséges holdak nemcsak az esetleges nukleáris robbantások tényét, de a jelek beérkezési időkülönbsége alapján a robbantás helyét is pontosan jelezni tudják.

Nagy meglepetést keltett, hogy az így kialakított rendszer nem a Szovjetunió, hanem az Indiai-óceán felett jelzett először. Hogy az így észlelt gammafelvillanás nem lentről, az óceán felől, hanem fentről, a Földön kívüli térségből jött, az csak utólag derült ki...

Az első adatokat még hosszú ideig katonai titokként kezelték. A gamma bursterek mint csillagászati jelenség léte egy 1972-ben megjelent Astrophysical Journal cikkben vált ismertté, amikor is 16 db 1969 és 72 között megfigyelt gammafelvillanásról számoltak be amerikai csillagászok.

A gammafelvillanások fő tulajdonságai

Az elektromágneses hullámhossztartománynak az ultraibolyán, sőt még a röntgen tartományon is túl levő, legrövidebb hullámhosszú részét nevezzük gamma tartománynak. A hullámhossz itt már 10^{-10} cm-nél is rövidebb, az elektromágneses hullámoknak itt már nem a hullám-, hanem anyagtermészete kerül előtérbe. Éppen ezért szokásos a hullámhossz megadása helyett inkább a sugárzás energiájára utaló eV, keV, MeV stb. megjelölést használni a gammasugárzás fajtáinak megkülönböztetésére. A gammafelvillanások főbb tulajdonságai a következők:



1. ábra. Gamma bursterek

- rövid (de esetenként igen változó) időtartamúak
- nagy energiájúak (még a gamma tartománynak is a röntgentől távolabb eső részében figyelhetők meg elsősorban)
- az égen egyenletesen oszlanak el (ezt a kezdeti megfigyelést az időközben egyre halmozódó megfigyelési eredmények mindig nagyobb pontossággal igazolják)
- nem ismétlődnek (ugyanarról a helyről nem jön több burst)
- az erősebb kitörések fényessége meghaladja az állandó gammaforrások összfényességét
- más hullámhosszakon nem (még röntgenben sem) sikerült őket azonosítani
- a kitörések profilja (a „fénygörbe”) teljesen változó, szabálytalan (l. az 1. ábrát)

A fentiek (és az ezután következők) nem vonatkoznak az ún. Soft Gamma Repeater-ekre (SGR: „Lágy Gamma Ismétlők”). E három lágy (tehát röntgenhez közeli) gammakitöréseket ismételtlen mutató forrásnál tudjuk, hogy közeli (tejtrendszerbeli, illetve a Nagy Magellán Felhőben levő) szupernóvamaradványban található neutroncsillag a forrás. Az SGR-ek azonban nem „igazi” gamma bursterek, a jelek szerint fizikailag különböznek a többi gammafelvillanástól.

A 70-es és a 80-as évek

A 70-es és a 80-as években teljes erővel beindult a gammafelvillanások kutatása. Számos, a burstök vizsgálatára szolgáló mesterséges hold került földkörüli pályára, illetve a bolygóközi térbe. Ez utóbbira azért volt szükség, mert a gammacsillagászatnak — hasonlóan a röntgencsillagászatához, csak még fokozottabb mértékben — az a legfőbb problémája, hogy nehéz, sőt szinte lehetetlen az égi gammaforrások pontos pozíciójának a meghatározása. Valamivel jobb a helyzet a hirtelen fellépő kitöréseknél. Ekkor ugyanis a pozíció-meghatározáshoz csak nagy pontosságú órákra van szükség. Ezeket a Naprendszer egymástól távoli pontjain elhelyezve — a felvillanás beérkezési idejének különbségéből — egyszerű háromszögeléssel meghatározható a felvillanás pontos égi helye.

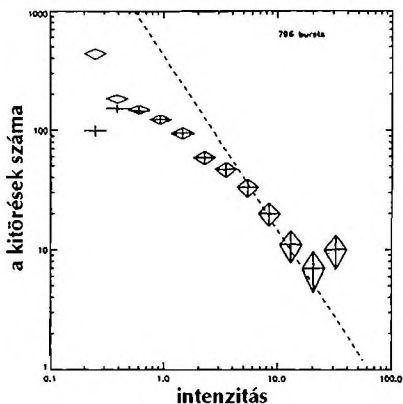
Ezek a holdak átlagosan három naponként észleltek egy gammafelvillanást. Célszerűnek látszott ezért a felvillanásokat a megfigyelés dátuma révén megkülönböztetni. A GRB 841215 például az 1984. december 15-én megfigyelt burst elnevezése. Ritkábban persze az is előfordult, hogy egyetlen napon két vagy három felvillanást is megfigyeltek a műszerek. Így tehát a GRB 790305b a nevezetes 1979. március 5-én másodikként megfigyelt burst elnevezése. (Ez egyébként az egyik SGR volt).

Gyűltek a megfigyelések, egyre több gammakitörés fénygörbéje, sőt színképe vált ismertté, de hogy miféle égitestek ezek, és milyen fizikai folyamatban keltik a felvillanásokat, azt nem sikerült tisztázni. Amit biztosan lehetett tudni, az csak annyi, hogy ezek a rejtélyes források teljesen egyenletesen oszlanak el az égen, és ugyanarról a helyről nem jön ismételtlen felvillanás.

Ilyen helyzetben nincs más lehetőség, mint feltételezni, hogy benne vagyunk a felvillanásokat okozó égitestek felhőjében, vagy ellenkezőleg, esetleg nagyon távol vagyunk tőlük. Közepes távolságok esetén ugyanis, ha a kitöréseket okozó források nyílt- vagy gömbhalmazokban, a Tejútrendszer síkjában, a magban, esetleg galaxisokban vagy galaxishalmazokban lennének, akkor a kitörések eloszlása az égen nem lehetne egyenletes, hanem a felsoroltak eloszlását követné.

Más lehetőség nem lévén, fel kellett tételezni, hogy a kitöréseket mutató égitestek egyenletesen töltik ki a teret, anélkül hogy tudnánk: közel vannak, vagy esetleg távol. Az mindenesetre igaz, hogy a térben távolodva ezen égitestek száma a távol-

ság köbével nő, a kitörések átlagos fényessége viszont a távolság négyzetével csökken. Átlagosan azonos erősségű kitöréseket feltételezve, ha vízszintes tengelyen felmérjük a kitörések intenzitását, a függőleges tengelyen pedig az adott intenzitású kitörések megfigyelt számát, akkor egy $-3/2$ -es meredekségű eloszlást (szaggatott vonal) kell kapni (2. ábra).



2. ábra. A megfigyelt gammakitörések száma a fényesség függvényében

síkja nem rajzolódik ki az eloszlásban, azt azzal magyarázták, hogy nem látunk elég messzire, csak a közeli neutroncsillagokon történő felvillanásokat észleljük. Ezt a képet tovább erősítette, hogy az így kapott távolságokat összevetve a kitörések megfigyelt fényességével a neutroncsillag felszínére 10^{38} erg/s energiafelszabadulás adódott, ami elméletileg több szempontból is pont megfelelt a fizikusok elvárásainak.

Ekkor mindenki az új, nagyérzékenységű mérőműszer, a Gamma Ray Observatory (GRO) felbocsátását várta. Arra számítottak, hogy az addig észlelt három naponként egy kitörés helyett, az új műszer napi 50-et fog megfigyelni, és a korábbi egyenletes eloszlás helyett kirajzolódik az égre a Tejútrendszer fősíkja.

A Compton Gamma Ray Observatory

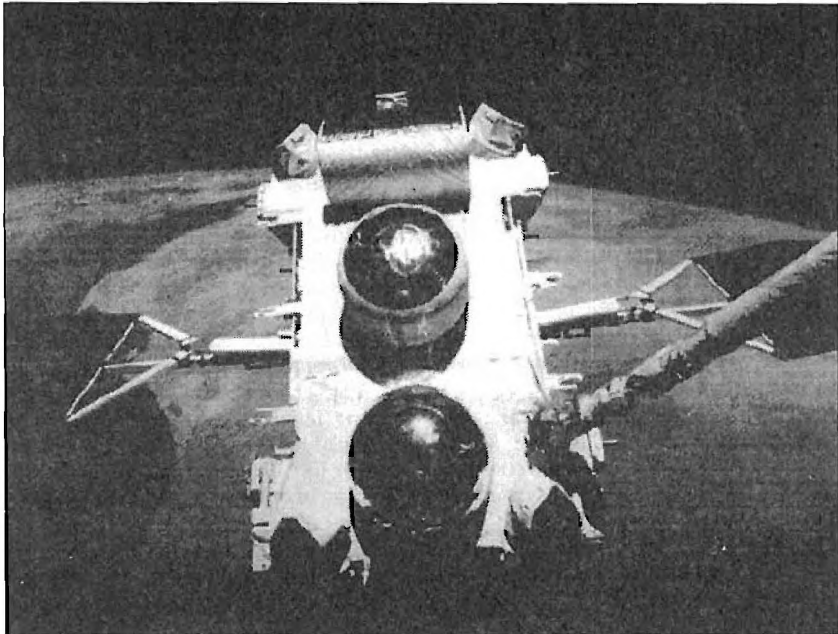
Az új nevén CGRO-nak nevezett berendezés minőségi fejlődést hozott a gamma-csillagászatban. A mintegy 600 millió dollárba kerülő 16 tonnás eszközt az Atlantis űrrrepülőgép 1991. április 5-én állította kb. 450 km magasságú pályára. A $7,7 \times 5,0 \times 4,6$ méter méretű gammaobszervatórium (3. ábra) négy fő műszert foglal magába:

BATSE (Burst And Transient Source Experiment). Ez a CGRO 8 sarkán elhelyezett rész-műszerekből álló eszköz a kitörések (a gamma burstok, és a napflérekkel együtt jelentkező gammakitörések) megfigyelésére szolgáló berendezés. Főleg a 200000 eV–100 millió eV tartományban érzékeny. Ha a berendezés kitörést észlel, akkor a másik három műszert is aktivizálják. A kitörések szinképének megfigyelésére is alkalmas. Az iránymérés a 8 rész-műszer megfigyeléseinek összehasonlítása alapján történik.

OSSE (Oriented Scintillation Spectrometer Experiment). Ez egy wolfram kollimátorral ellátott szűk ($\sim 10^\circ$ -os) látómezejű elforgatható berendezés. Érzékenységi tartománya 100 ezer eV –10 millió eV.

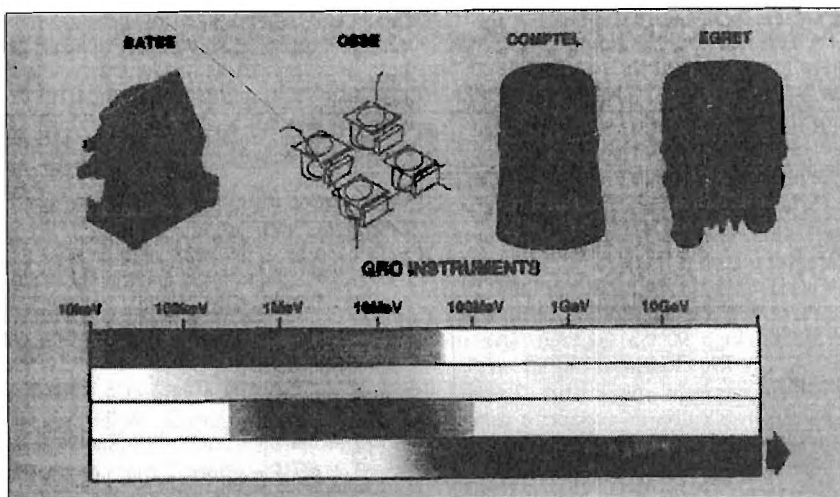
COMPTEL (imaging COMPton TELEscope). Ez az 1–30 MeV tartományban érzékeny berendezés „képalkotásra” képes azáltal, hogy 2 detektorlap segítségével visszaállítja a beérkező gamma foton nyomvonalát. Helymeghatározási pontossága $8'$ (egy 60° -os látómezőn belül). Pozicionálni csak az egész GRO elforgatásával lehet, ami órákat vesz igénybe.

EGRET (Energetic Gamma Ray Experiment Telescope). Ez a berendezés a legnagyobb energiájú gamma fotonok érzékelési irányának és energiájának a meghatározására szolgál. Ugyanarra néz, mint a COMPTEL, látómezeje 40° -os.



3. ábra. A Compton Gamma Ray Observatory

A CGRO valóban új korszakot nyitott a gammacsillagászat számára. A kitérések vizsgálatában az volt a legmeglepőbb, hogy az eloszlás az égen továbbra is teljesen egyenletes (csak ezt most már sokkal nagyobb pontossággal lehetett állítani). A másik meglepetés, hogy a burstok száma megnövekedett ugyan, de nem napi 50-re, hanem csak napi egy megfigyelt kitérésre. Az is nyilvánvalóvá vált, hogy a $-3/2$ -es eloszlás halvány végénél megfigyelhető hiány reális. Azaz egyértelműen kevesebb a halvány burst ahhoz képest, mintha egyenletesen töltenék ki a teret. Tehát „kilátunk” a felhőből, túllátunk a kitéréseket okozó égitestek felhőjének a szélén. (De arra kérdésre, hogy ez a felhő mekkora, továbbra sincs válasz).



4. ábra. A CGRO műszerei

A gammakitörések tulajdonságai

A 90-es évek közepére több ezer megfigyelt gammakitörés adatai gyűltek össze. Ennyi adattal már lehet különféle statisztikai vizsgálatokat végezni. Ezek a vizsgálatok mind negatív eredményt hoztak. A gammafelvillanások nem hozhatók kapcsolatba semmilyen ismert égi objektumtípus eloszlásával. Egymással sem mutatnak korrelációt sem kis, sem nagy szögskálán.

A csillagászatban régen bevált módszer, hogy ha valamilyen objektumról keveset tudunk, akkor megpróbáljuk megfigyelni valamilyen más hullámhossztartományban. Már régen felmerült a gondolat, hogy a gammafelvillanásokkal egyidejűleg esetleg más (pl. optikai) felvillanás is jelentkezhet. Annál is inkább, mivel — főleg amatőrök — már sokszor számoltak be rejtélyes égi felvillanásokról.

Mivel az említett legalább három, térben egymástól távoli mérőberendezés nem mindig állt rendelkezésre, nem minden burst esetén beszélhetünk annak pontos égi helyéről, hanem inkább csak az égi pozíció „hibaellipsziséről” vagy „hibanegyzetéről”. Természetesen megpróbálták az így kapott sok ezer hibaellipszisben furcsa, gyanús objektumokat keresni, amik a kitörések forrásai lehetnek. Nem találtak ilyeneket.

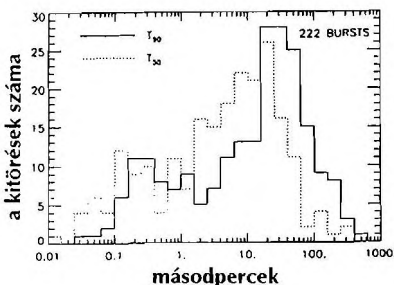
Hogy ez az óriási munka milyen szintű eredményeket hozott, arra egy példa: A GRB 910219 hibaellipszisében egy 1905-ös lemezen (tehát 86 évvel korábban) találtak egy $6^m,5$ fényességű objektumot, aminek a helyén biztosan nincs semmi $20^{m,6}$ -ig. A gamma burst és az ismeretlen eredetű kifényesedés pozíciója legfeljebb $21'$ -cel tér el egymástól. A kifényesedéstől $1'$ -en belül van egy (halvány) kvazár is.

Számos egyéb próbálkozás is van. A múlt évben az egyik űrrepülőgép pályára állított egy igen egyszerű (egyetemi hallgatók által javasolt) berendezést. A GAMCIT nem más, mint egy egyszerű gamma burst érzékelő és egy nagylátószögű fényképezőgép. Ha a detektor kitörést észlel, a fényképezőgép egymás után 5 perces

expozíciót készít (amerre éppen áll). Eredményes azonosításról nem tudok. Hasonlóképpen nem tudok annak a felhívásnak az eredményéről sem, amikor tavaly egy IAU Circularban olyan megfigyelőket kerestek, akik egy adott időpontban esetleg fekvélt készítettek a Hyakutake-üstökösről. Az üstökös ugyanis pont ott haladt el, ahol a gamma megfigyelő holdak éppen egy kitérés jeleztek.

Amit mégis tudunk a gammakitérésekről

Az eddigieket összefoglalva azt lehet mondani, hogy azon kívül, hogy vannak gammakitérések, nem sokat tudunk róluk. Ennyi adatból persze mégiscsak lehet következtetéseket levonni. Meg lehet például vizsgálni a kitérések időtartamát. Ez nem is olyan egyszerű, mert például függ az intenzitástól is. Bevezették ezért a T_{90} fogalmát. Ez azt az időtartamot jelenti, amin belül a burst fluenciájának (fluxus-sűrűségének) a 90%-a érkezett. (Az időtartam ezáltal függetlenné vált az intenzitástól.) A T_{90} eloszlását mutatja az 5. ábra. Az eloszlásnak két maximuma van: 0,3 s és 20 s környékén, míg köztük, 2 s-nál van a minimum. A gamma burstok tehát két ténylegesen elkülönülő csoportra oszlanak. Sajnos ezzel nem jutunk tovább, alaposabban megvizsgálva ugyanis, hogy a két csoportba sorolt kitérések miben hasonlítanak még egymásra, illetve miben különböznek a másik csoporttól (például intenzitás, térbeli eloszlás vagy bármí), semmit sem találunk.



5. ábra

Tendencia jellegű összefüggés mutatkozik viszont a burstok időtartama és keménysége között. A rövidebb burstok keményebbek (rövidebb hullámhosszúak). Az egyik legrövidebb burst a GRB 910711. Ez mintegy 0,02 mp-ig tartott.

Az eddigi leghosszabb gammakitérést 1994. február 17-én 23:03 UT-től figyelte meg a CGRO BATSE és az Ulysses bolygóközi szonda. Itt a kitérés mintegy 3 percig tartott. A CGRO nagyenergiájú detektora, az EGRET azonban még mintegy további 10 percen keresztül jelzett nagyenergiájú gamma fotonokat. Ekkor a CGRO (a forráshoz képest) a Föld árnyékába került. Amikor a GRB 940217 ismét láthatóvá vált a CGRO számára, már senki nem számított arra, hogy a kitérés még tart. Tévedtek.

Sőt, ekkor, mintegy 80 perccel a kitérés kezdete után észlelte a berendezés az eddig megfigyelt legnagyobb energiájú (18 GeV-os!) gamma fotont. Még ezzel sem volt vége, az utolsó nagyenergiájú fotont az EGRET mintegy 90 perccel a kitérés kezdete után regisztrálta.

A források lehetséges helye

Alapvetően tehát csak az biztos, hogy túllátunk a felhő szélén, de hogy mekkora a felhő, azt nem lehet tudni. A következő esetek jöhetnek szóba:

Az Oort-féle üstökösfelhő. Ez azért jó jelölt, mert azon kívül, hogy van, mást nem nagyon tudunk róla. A homogén eloszlásra jó, meg az is rendben van, hogy túllátunk a szélén, de problémát jelent, hogy mi okozhat itt gammafelvillanásokat? Szóba jöhetnek üstökös-üstökös, vagy üstökös-fekete lyuk ütközés. Általában ezt a lehetőséget nem veszik komolyan.

Közeli neutroncsillagok felhője. A CGRO előtti korszakban ez volt a legvalószínűbb jelölt. Az, hogy túllátunk a szélén, önmagában még nem lenne baj (a Tejútrendszer síkjából kilátunk), de ekkor az irányeloszlásban ennek látszania kellene.

Neutroncsillagok a Tejútrendszer (kiterjedt) halójában. A fő problémát itt az jelenti, hogy nem a Tejútrendszer centrumában vagyunk, hanem attól 8 kpc-re. Hogy ez a megfigyelt kitérések eloszlásában ne okozzon dipólt, ahhoz a források átlagos távolságának meg kellene haladnia a 100 kpc-t. A teljes felhő kiterjedésének pedig el kellene érnie a 400 kpc-t. Ez ugyan jóval nagyobb a Tejútrendszer látható kiterjedésénél, de a fő gondot mégsem ez okozza, hanem az, hogy ebben az esetben már látszania kellene a középpontjával tőlünk 690 kpc-re levő Andromeda-köd hasonló felhőjének (és nem látszik).

Még egy lehetőség marad: a bursterek térben (és ezáltal időben is) tőlünk óriási, „kozmológiai” távolságban vannak. Ebben az esetben persze sokkal fényesebbek is, ami külön magyarázatot igényel:

Összeolvadó neutroncsillagok kozmológiai távolságokban. Az izotropia itt nem gond, az Univerzum nagy skálán feltétlenül izotrop. Az inhomogenitással sincsen baj. Mivel az igen távoli objektumok nemcsak térben, de időben is távol vannak tőlünk, az, hogy túllátunk a felhőn, csupán azt jelenti, hogy az Univerzum életének egy kezdeti szakaszában nem voltak burstök, de egy idő óta vannak.

Ha feltételezzük, hogy $z = 1$ -nél távolabbról nem jönnek burstök, akkor az átlagos burst luminozitása $\sim 10^{51}$ erg/s. Figyelembe véve a burstök megfigyelt számát, a szoban forgó térfogatot és az abban található galaxisok számát, azt kapjuk, hogy évenként és galaxisonként 10^{-6} db kitérésnek kell lennie. Az a kérdés, hogy mi fordul elő ilyen gyakorisággal (pontosabban ilyen ritkán) egy galaxis életében? A válasz kézenfekvő: kb. ilyen gyakorisággal fordulhat elő egy átlagos galaxisban, hogy neutroncsillagot tartalmazó kettőscillagok egymásba olvadnak. (A valószínűségben persze a dolog fordítva történt: az összeolvadások becsült gyakoriságából számították ki, hogy a kitérések $z = 1$ -en belüli térségből jöhetnek).

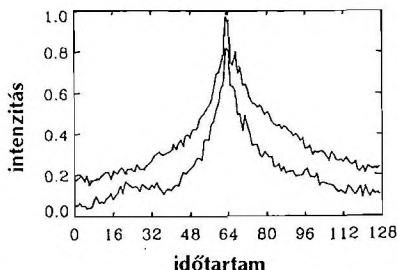
Kérdés az, hogy a neutroncsillagok összeolvadása képes-e a szükséges 10^{51} erg/s energiát biztosítani? Az elmélet szerint a neutroncsillag-kettősök igen hosszú idő alatt energiát veszítve lassan, fokozatosan kerülnek közel egymáshoz. A végső összeolvadás azonban 1 ms alatt végbemegy, és ennek során 10^{53} erg energia szabadul fel. Ennek 99%-a neutrínók formájában távozik, tehát valóban marad mintegy 10^{51} erg a feltételezett gammafelvillanásra.

Ez így — talán — elfogadhatónak tűnik, de egy új elmélet helytálló voltát akkor lehet igazán alátámasztani, ha levonható belőle valami új következtetés, anélkül, hogy az igazolás igazolná.

A kozmológiai távolság következményei

Ha a gamnakitérések forrásai tényleg kozmológiai távolságokban vannak, akkor (mivel a távolabbi bursterek nagyobb sebességgel távolodnak) megfigyelhető idődilataciónak kell fellépnie. Hétköznapi nyelvre fordítva, a halványabb burstöknek hosszabbnak kell lenniük (legalábbis kell hogy legyen az adatokban egy ilyen tendencia). A gondot az okozza, hogy nincs két egyforma burst, ezért igencsak nehéz őket normálni, de azért nem lehetetlen. (Valahogy megpróbálják a „zajt” a gamma fénygörbén azonos szintre hozni). Az eredményt a 6. ábra mutatja. Az ábrán a felső görbe a halványabb, az alsó a fényesebb kitérések hosszát mutatja. A fényesebb kitérések rövidebbnek tűnnek. Ilyen vizsgálatokat számos kutatócsoport végzett.

Általában az az eredmény, hogy az eloszlás „összeegyeztethető azzal”, esetleg „nem mond ellen annak”, hogy a gammakitörések kozmológiai távolságokból jönnek. Az igazság kedvéért azért hozzá kell tenni, hogy olyan publikációt is olvastam, ahol nem találták a dilatációs effektust. Sőt, még az sem lehetetlen, hogy (valamilyen általunk még nem ismert okból kifolyólag) a halvány burstök egyszerűen ténylegesen hosszabbak, mint a fényesek.



6. ábra. A halvány burstök (felső görbe) hosszabbak a fényes burstöknél

Ha a gammakitörések tényleg kozmológiai távolságokban történnék, annak lehet még egy érdekes következménye. Előfordulhat — a távoli kvazároknál megfigyelt jelenséghez hasonlóan —, hogy egy látóirányba eső nagyobb tömeg (galaxis) gravitációslenyomása következtében a kitörés többszörösen leképeződik. (Kvazárok esetében megfigyeltek ötszörös leképeződéseket is. A képek teljesen azonosak, egymás mellett vannak, időben viszont lehet közöttük akár egy év különbség is). A gammakitöréseknél ez úgy jelentkezhethet, hogy közel ugyanarról a helyről ugyanolyan kitörést észlelnék

akár több hónapos, vagy éves különbséggel. Ez bizonyíték lenne a kitörések kozmológiai távolságára — ilyen jelenséget egyelőre még nem sikerült megfigyelni.

Ha a gammakitörésekkel egy időben felfedezett kvazárokra, pulzárokra vagy a mikrohullámú háttérsugárzásra gondolunk, akkor szomorúan kell megállapítanunk, hogy harminc év után a gamma bursterekre vonatkozó tudásunk röviden összefoglalható: nem ismeretes, hogy mik okozzák a gammakitöréseket, és még azt sem lehet tudni, hogy ezek a források — valószínűleg neutroncsillagok — közel vannak, vagy távol...

PATKÓS LÁSZLÓ

Hale-Bopp észlelőhét Ráktanyán

1997. április 1-6.

A Hale-Bopp-üstökös legkedvezőbb láthatóságát és a tavaszi szünetet kihasználva egyesületünk észlelőhetet szervez Ráktanyán. A rendezvény célja, hogy mindenki ideális körülmények között figyelhesse meg az „évszázad üstökösét”. A sötét és remélhetőleg derült égbolton a Hale-Bopp armycában meghúzódó egyéb látványosságok megfigyelésére is lehetőség nyílik.

Részvételi díj: 2500 Ft, tagoknak 2000 Ft. Elszállásolás 6-12 fős szobákban, saját ellátással.

Jelentkezés és a részvételi díj befizetése: Sárneczky Krisztián, 1132 Budapest, Kádár u. 9-11.,

Tel.: 153-4902, e-mail: sky@mcse.hu

Jelentkezési, egyben befizetési határidő: március 15.

A jelentkezéseket a beérkezések sorrendjében fogadjuk el!