

OTDK-dolgozat

Gammakitörések

Szerző: Vig Zsófia

SZTE Gyakorló Gimnázium és Általános Iskola
12. osztályos tanuló

Konzulens: Dr. Szalai Tamás

SZTE TTIK Fizikai Intézet
Kísérleti Fizikai Tanszék

Szeged, 2023

Absztrakt

A gammakitörések hatalmas energiájú égi jelenségek, amelyek elsősorban gammasugárzást, de részben más hullámhosszú sugárzásokat is kibocsátanak. A kitörés által egy felvillanó fényt érzékelhetünk az égbolton, amely legtöbb esetben pár másodpercig tart, de van amelyik ennél hosszabb, vagy akár még rövidebb is lehet.

Létrejöttük körülményeire a tudósok a mai napig magyarázatot keresnek.

Kutatásom során ezen témát járom körül, minél több tulajdonságukat felfedve és kapcsolatot teremtve az egyes kitörések között. Ezt a munkát főképp a NASA egy angol nyelvű összefoglaló anyaga alapján végeztem.

A kutatómunkám kezdetekor személyes célom volt közlőleg megismerni egy olyan témakört, amiről odáig még nem tanultam. Szerettem volna leírni minden információt, amit ez idő alatt elsajátítottam, s ezáltal egy olyan anyagot írni, amit, ha később visszaolvasok ugyanazt az átfogó képet és élményt kapjam, mint akkor, amikor még a tanulási folyamatom tartott.

Ez a dokumentum a gammakitörések témakörének összefoglalójaként szolgál. Segítségét nyújthat mindazoknak, akik ezzel a témával foglalkozni szeretnének vagy már foglalkoznak. Az anyag felépítésénél a lépcsőzetességre törekedtem, így minden olyan fogalmat kifejtettem benne, ami később szükséges a megértéshez. Emiatt használható iskolai csillagászati szakkörök segédleteként, oktatási segédanyagként, kutatásokhoz, informálódáshoz vagy egyszerűen csak kikapcsolódáshoz.

Előszó

Fő célom volt a dolgozat elkészítése során betekintést nyerni a gammakitörések témakörébe. Munkám kezdetekor szerettem volna egy magyar nyelvű összefoglalót készíteni, amiből mások is tanulhatnak rajtam kívül. Ennek az eredménye olvasható ezen dokumentumban, amelyet egy angol nyelvű tananyag alapján készítettem (<https://swift.sonoma.edu/gammaRayB/gammaRayPdf.pdf>). Az ábrák egy része ebből származik. A fő tananyagot különböző internetes és papír alapú forrásokkal egészítettem ki, hogy minél részletesebb rálátást kaphassak a témára és a lehető legpontosabb információkat gyűjthessem össze.

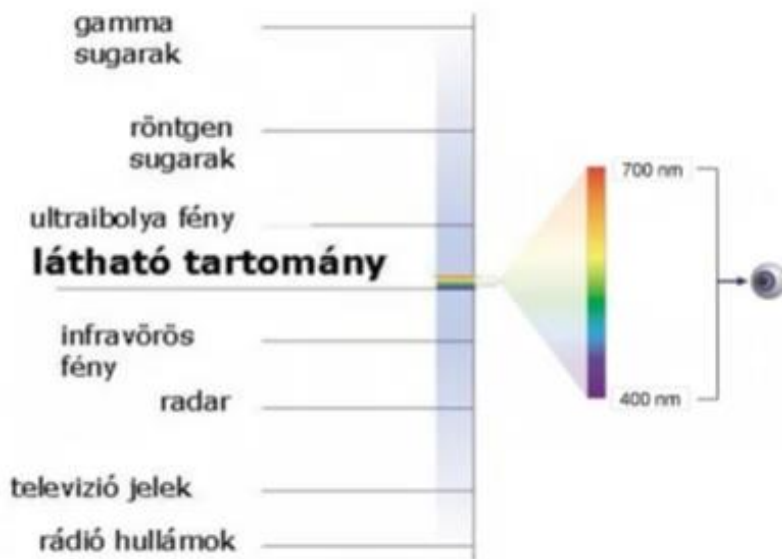
Tartalom

1. Bevezetés.....	5
2. Gammakitörések felfedezése.....	6
3. Elhelyezkedésük ábrázolása.....	7
4. Gammakitörések irányának meghatározása	9
5. Gammakitörések távolsága.....	13
5.1 Közepes távolság esete.....	14
5.2. Ha közel, azaz a Naprendszerünkben lennének a kitörések.....	14
5.3. Nagy távolságokban.....	15
6. Elnevezésük	17
7. A gammakitörés folyamata.....	18
8. A fotonok vizsgálata a gammakitörés folyamán.....	22
8.1 A kisugárzás módja.....	22
8.2 A gammakitörések fénygörbéi.....	23
9 Csoportosításuk	25
9.1 Hosszú kitörések.....	25
9.2 Rövid kitörések	26
9.3 Ismétlődő kitörések.....	26
9.4 Ultrahosszú kitörések	27
9.5 Közepes kitörések	27
10. Különleges gammakitörések	29
Irodalomjegyzék, források	32

1. Bevezetés

Minden égitest valamilyen sajátos sugárzást bocsájt ki. Ezeket elektromágneses sugárzásnak hívjuk. Attól függően, hogy mekkora az égitest/jelenség hőmérséklete, illetve energiája, különböző hullámokat tud létrehozni. Ez lehet: rádióhullám, mikrohullám, infravörös, látható fénytartományú, ultraibolya, röntgen, vagy gammasugárzás. Az égitestek általában egyszerre többféle hullámhosszú sugárzást bocsájtanak ki, a tudósok meghatározva ezeknek az összetételét, több mindent meg tudnak állapítani az égitest tulajdonságairól.

Az alacsony hőmérsékletű és energiájú égitestek (mint például a hideg bolygók, vagy a porfelhők) általában rádióhullámú és infravörös, míg a magas hőmérsékletű, illetve nagy energiájú folyamatokat produkáló égitestek (forró csillagok, pulzárok) nagy mennyiségű ultraibolya, vagy akár röntgensugárzást is képesek kibocsájtani, így állítható fel egy skála a tartományok között. Ennek a skálának a legvégén áll a gammasugárzás, amelynek kibocsájtásához egy hihetetlenül nagy energiatartalmú esemény kell. Ezek a gammasugárzások általában gammakitörések útján keletkeznek, amelynek a létrejöttére próbálnak a tudósok a mai napig magyarázatot keresni.



1. ábra

Az elektromos hullámok spektruma

Forrás:

<https://tudasbazis.sulinet.hu/hu/szakkepzes/nyomdaipar/szintan/feny-es-szinek/fenytan>

2. Gammakitörések felfedezése

Az 1960-as években már műholdakkal figyelték mind az esetleges földi robbanásokat, mind az űrbélieket. Ezek azért voltak fontosak, mivel 1963-ban három ország: a Szovjetunió, az Amerikai Egyesült Államok és Nagy-Britannia aláírta a Nemzetközi Atomcsend Egyezményt, melyben a tagok beleegyeztek, hogy nem fognak nukleáris fegyvereket használni. Amikor felrobban egy hidrogén- vagy atombomba, egy pillanatnyi villanást hoz létre, amely a gammasugárzás tartományába tartozik, ezt a sugárzást észlelik a kihelyezett műholdak. Mivel a Földről máshonnan nem érkezik gammasugárzás, így a módszer biztosnak tűnt az ilyen események beazonosítására.

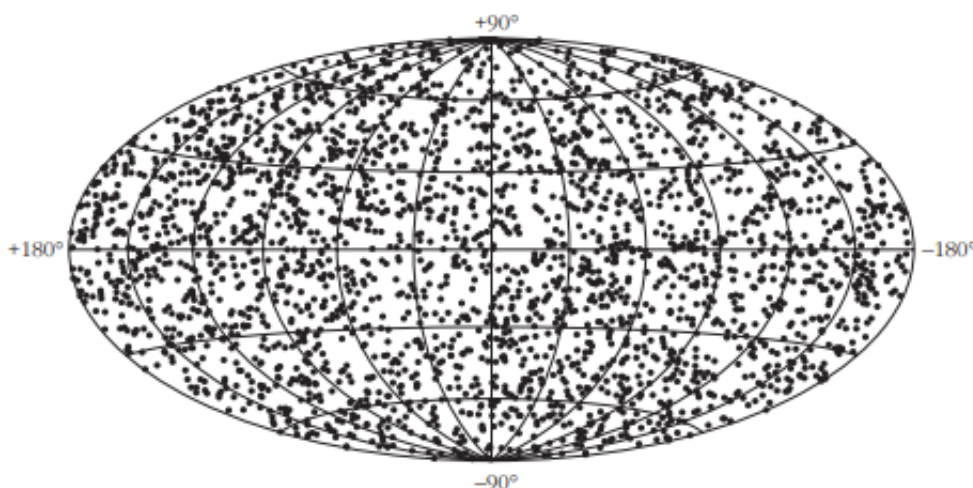
Mikor elkezdték elemezni a műholdakkal gyűjtött adatokat, felfedezték, hogy vannak, amelyek nem nukleáris eredetűek, tehát nem a Földről vagy a Holdról származtak (számítottak arra is, hogy lesznek, akik a Holdon próbálják ki a fegyvereiket). Egyre több és több ilyen forrást találtak, de nem tudták pontosan meghatározni, hogy honnan származnak és mik is ezek valójában. 1980-ig közel 500 ilyen gammafelvillanást detektáltak. 1991-ben felbocsátották a NASA CGRO, Compton Gamma Observatórium nevű műholdját, amely fedélzetén négy műszer működött. Ezek közül a leghíresebb a BATSE, amely több mint 2700 kitörést észlelt, viszont még ez is pontatlanul tudta csak meghatározni a forrás irányát. Néhány évvel később, 1997-ben már néhány ívperc pontossággal tudták mérni ezeket, az akkor felküldött Beppo-SAX műholddal.

Az azonosított források távolsága jóval meghaladta az elvártat. Az eddigi elmélet miszerint a kitörések a Galaxisunkból származnak, hamisnak bizonyult. A GRB-k (Gamma-Ray Burst), azaz gammakitörések az égen mindenhol megtalálhatóak, a legtöbb a Galaxisunktól hatalmas távolságra levő forrásból érkezik. Ez azt jelentette, hogy az eddigieknél jóval nagyobb energiájú jelenségekről van szó, hiszen csak ekkor érzékelhetőek nagy távolságokból is. Ezen ismeretekhez a kutatók a következőkben taglalt módon jutottak el.

3. Elhelyezkedésük ábrázolása

Először is szükség volt egy térképre, egy rendszerre, ami alapján le lehet írni, hogy hol is történt maga a gammakitörés. Viszont ez egy igen problémás feladatnak tűnt, mivel nehéz volt egyetlen síkfelületen ábrázolni mindazt, ami az égen történt.

Végül a Földnél használatos vetületformát választottak: az Aitoff-féle vetületet, amelyet a 2. ábra mutat már magukkal a gammakitörésekkel együtt.



2. ábra

A BATSE műhold által detektált gammakitörések

Forrás:

<http://atomcsill.elte.hu/Cikkek/FizSzle/Balazs-Horvath-Kelemen.pdf>

A források galaktikus koordináta-rendszerben vannak, amely a gammakitörések égi eloszlását a Galaxisunk síkjához képest ábrázolja, ennek középpontjában a Tejútrendszer áll.

Függőleges tengelyét galaktikus hosszúságnak (l) (földi megfelelője a hosszúság), vízszintes tengelyét pedig galaktikus szélességnek (b) nevezik (földi megfelelője a szélesség).

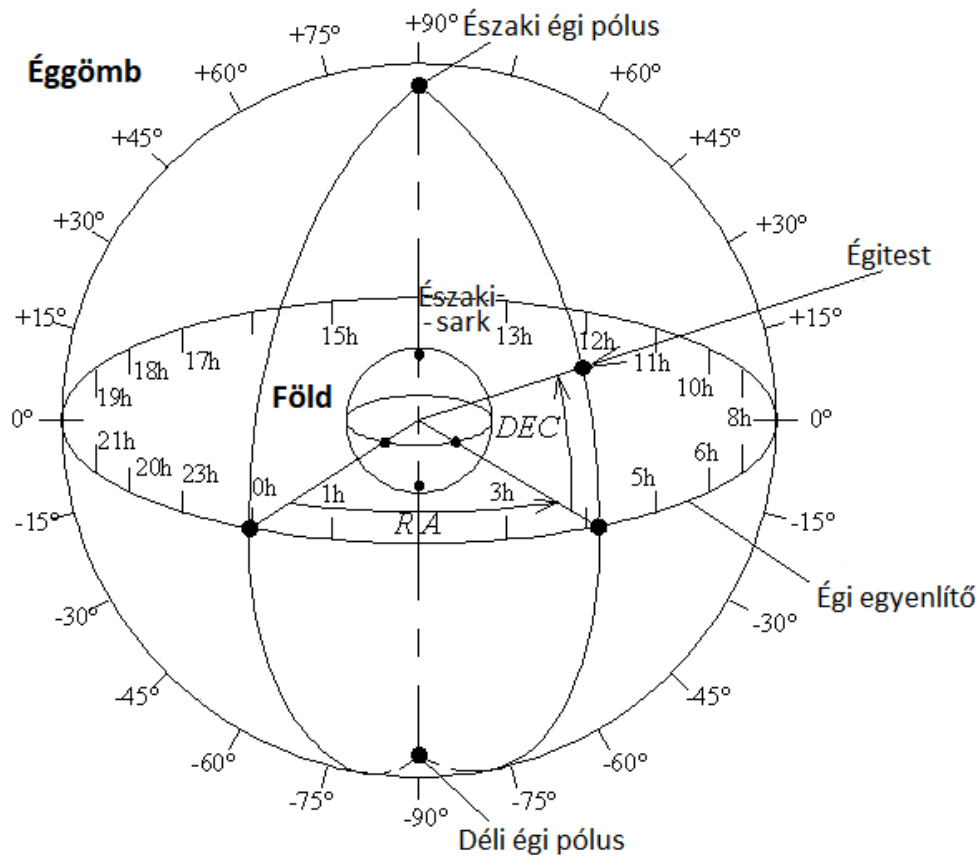
Mindkettőt fokokban adjuk meg, a galaktikus hosszúság -180 és +180 fok között, a galaktikus szélesség pedig -90 és +90 fok között lehet.

Az események vizsgálatakor első lépésben az ún. égi egyenlítői koordináta-rendszerre van szükség (melyet a 3. ábra mutat), hiszen ezt használjuk az égi események pozícióinak megadására, illetve a távcsövek működtetése is ebben a koordináta-rendszerben történik.

Ennek tulajdonságai a következők:

Szélességi tengelyét deklinációnak (Dec), hosszúsági tengelyét pedig rektaszncenziónak (R.A) hívják.

A deklinációt fokokban mérjük, beosztásai -90 és +90 fok között vannak, a rektacszenziót pedig óra, perc, másodpercben.



3. ábra
Égi egyenlítői koordináta-rendszer

Forrás:

<http://www.csun.edu/~boregan/astrolab/manual/units012.htm>

(átdolgozva magyar nyelvre)

A nagy távolságban lévő gammakitörések térbeli eloszlásának ábrázolásához viszont már mindig a galaktikus koordináta-rendszert használjuk, hiszen az jobban szemlélteti a valós helyzetüket.

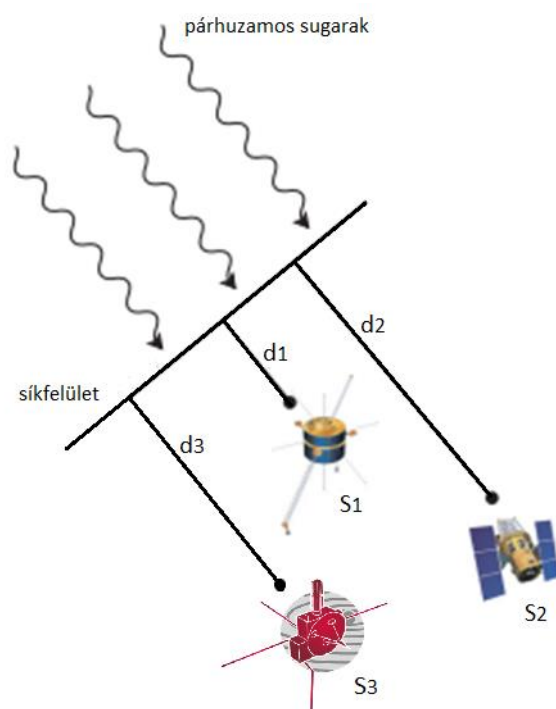
Ezekkel a koordináta-rendszerekkel már ábrázolni tudjuk a gammakitörések elhelyezkedéseit az égen (miután az irányukat meghatároztuk), össze tudjuk azokat hasonlítani egymással és ezáltal kapcsolatot tudunk teremteni közöttük. Fontos megemlíteni, hogy a 2. ábrából látszik, hogy a kitörések elhelyezkedése egyenletes, nincsenek sem ritkulási, sem tömörülési pontok. Ebből még arra is lehet következtetni, hogy milyen távol helyezkednek el a források.

4. Gammakitörések irányának meghatározása

(1) Feladat: Mekkora szög alatt volt látható a 2000. május 16-i gammakitörés?)

Szinte bármilyen égi forrásnak, amely optikai fényt bocsát ki megállapítható az égi pozíciója (így a Földtől való iránya), akár egyszerű alumínium bevonatú üvegből készült tükröket tartalmazó távcsövek használatával. Ezek majdnem minden esetben működnek, ezáltal sokat alkalmazott eszközökké váltak. Egy probléma mégis van: a gammasugárzásnak olyan nagy az energiája, hogy könnyen áthatol bármilyen tárgyon. Így ezek a berendezések nem tudják a sugárzást begyűjteni, amelyből később adatot nyerhetnének. A tudósok újabb próbatétel elé kerültek, módot kellett találniuk arra, hogy hogyan határozhatnák meg a gammakitörések irányát a lehető legegyszerűbben.

Az 1990-es évektől a megfigyelés egy bizonyos háromszögeléses módszerrel történt. Ehhez szükség van három műholdra, amelyek érzékelni tudják a gammasugárzásokat. Kép alapján legyenek ezek S1; S2; S3. Ezek a 4. ábrán látható pozícióban állhatnak.



4. ábra

A tananyag ábrája, kiegészítve és átdolgozva magyar nyelvre

A gammakitöréskor keletkező és hullámok formájában terjedő fény eléri a műholdakat, a műholdak pedig **meghatározzák ezeket az időpillanatokot**. A gammakitörések a Földtől hatalmas, akár több milliárd fényév távolságban történnek (egy fényév kb. $9,5 \cdot 10^{12}$ km), erről később bővebben lesz szó. Ilyen

nagy távolságok esetén a műholdakhoz érkező hullámokat **párhuzamosnak** tekinthetjük. Ez amiatt van, hogy a műholdak egymástól való távolsága elhanyagolhatóan kicsi a forrás és a műholdak távolságához képest.

Vegyünk fel egy síkfelületet a műholdak közelében, amelyre a sugarak merőlegesen érkeznek és nézzük meg, hogy pontosan **mikor haladnak át** ezen a síkon. Vegyük észre, hogy mivel ezt a síkfelületet a műholdak környezetében vettük fel így a sugarak azonos időpontban haladnak át ezen a felületen, a párhuzamosságukból adódóan.

Nézzünk meg egy műholdat, legyen ez S2. Abból, hogy tudjuk, hogy mikor haladt át a sugár a síkfelületen és hogy mikor érte el a műholdat, megadhatjuk **ezen kettő távolságát**: d_2 -t.

(1) Feladat:

Vegyünk egy konkrét példát egy 2000. május 16-án észlelt GRB kapcsán:

- a hullám terjedési sebessége ismert, megegyezik a fénysebességgel:
 $c = 3 \cdot 10^8$ m/s.
- síkfelületen áthaladó gammasugárzás időpontja: 2000. május 16. 9:23:00, Greenwichi középideő alapján
- a műhold (S2) érzékeli a gammasugárzást: 2000. május 16. 9:36:00, Greenwichi középideő alapján

Ezek között $t_2 = 13$ perc telt el, azaz 780 másodperc.

Mivel a sugárzás egyenletesen terjed, így a $v = \frac{s}{t}$ képlet alapján:

$$d_2 = c \cdot t_2 = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s} \cdot 780 \text{ s} = 2,34 \cdot 10^{11} \text{ m} = 2,34 \cdot 10^8 \text{ km}$$

A síkfelület és S2 műhold távolsága ezek alapján **$2,34 \cdot 10^8 \text{ km}$** .

Ezeket megnézhetjük a másik kettő esetben is:

- a hullám terjedési sebessége ismert, megegyezik a fénysebességgel:
 $c = 3 \cdot 10^8$ m/s.
- síkfelületen áthaladó gammasugárzás időpontja: 2000. május 16. 9:23:00, Greenwichi középideő alapján
- a műhold (S1) érzékeli a gammasugárzást: 2000. május 16. 9:28:00, Greenwichi középideő alapján

$$t_1 = 5 \text{ min} = 300 \text{ s}$$

$$d_1 = c \cdot t_1 = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s} \cdot 300 \text{ s} = 9 \cdot 10^{10} \text{ m} = 9 \cdot 10^7 \text{ km}$$

A síkfelület és S1 műhold távolsága **$9 \cdot 10^7 \text{ km}$** .

- a műhold (S3) érzékeli a gammasugárzást: 2000. május 16. 9:42:24, Greenwichi középido alapján

$$t_3 = 19 \text{ min } 24 \text{ s} = 1164 \text{ s}$$

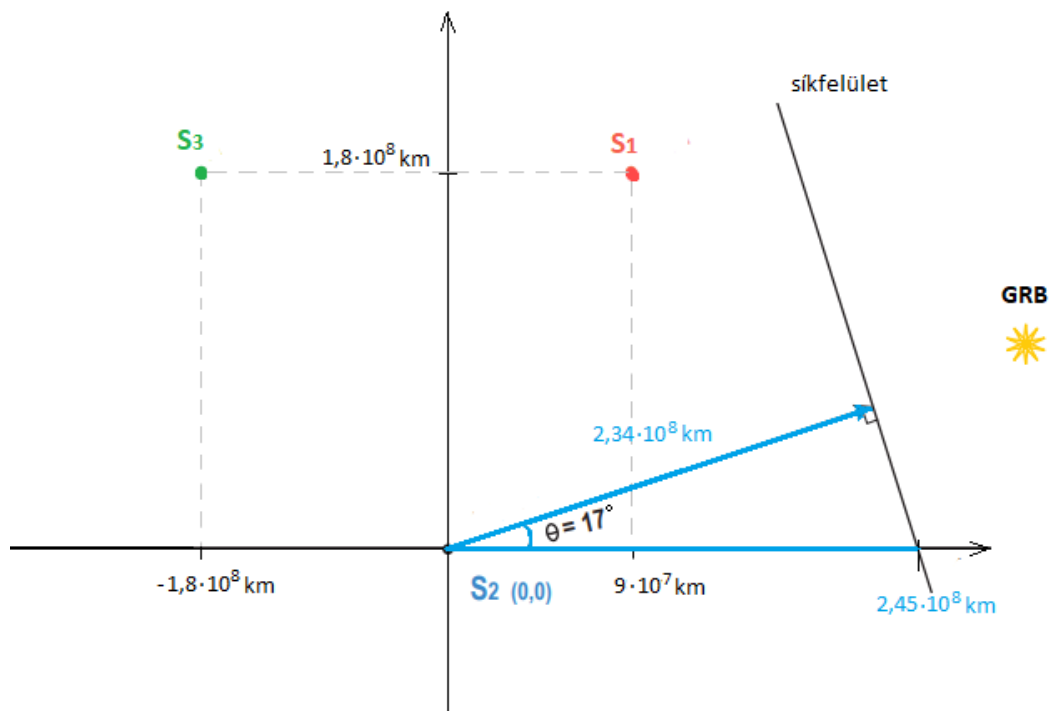
$$d_3 = c \cdot t_3 = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s} \cdot 1164 \text{ s} = 3,492 \cdot 10^{11} \text{ m} = 3,492 \cdot 10^8 \text{ km}$$

A síkfelület és S3 műhold távolsága **$3,492 \cdot 10^8 \text{ km}$** .

Mindhárom műholdra **különböző távolságokat** kapunk a pozíciójukból adódóan, ezek d_1 , d_2 és d_3 távolságok (, ahol $d_1=9 \cdot 10^7 \text{ km}$, $d_2=2,34 \cdot 10^8 \text{ km}$, $d_3=3,492 \cdot 10^8 \text{ km}$). Ezeket a távolságokat az érzékelési időkből számítottuk ki.

Egyetlen olyan síkfelület van, amelyre érvényesek ezek a feltételek, azaz a felület a sugárzásra merőleges legyen, illetve a meghatározott távolságokra legyen a műholdaktól. Kettő műhold esetén nem tudnánk pontosan megadni a forrás irányát, hiszen kettő olyan síkot is találunk, amelyre érvényesek lennének a feltételek. Három műhold esetén már egyértelműen elvégezhető ez a folyamat (ezért hívják háromszögletes módszernek).

A gammakitörés irányát a síkfelület **Földhöz viszonyított helyzete** egyértelműen meghatározza. Vegyük fel a három műholdat egy koordináta-rendszerbe, melynek origója a Föld lesz. Tegyük fel, hogy az egyik műhold (legyen ez S2) nagyon közel helyezkedik el a Földhöz, a másik kettőnek pedig meg vannak adva a koordinátái: S1($9 \cdot 10^7 \text{ km}$; $1,8 \cdot 10^8 \text{ km}$) ; S3($-1,8 \cdot 10^8 \text{ km}$; $1,8 \cdot 10^8 \text{ km}$)



5. ábra

A tananyag ábrája, átdolgozva és magyar nyelvre fordítva

Azt a pontot keressük, ahol a síkfelület metszi az x tengelyt, ennek abszcisszája D_2 , ezt csak le kell olvasnunk a koordináta-rendszerből. (Az ehhez szükséges beosztás elkészítéséhez az S1 és S3 vízszintes koordinátái segítségével jutok.)

- Ez alapján $D_2=2,45 \cdot 10^8 \text{km}$.
- S2 műhold síkfelülettől vett távolságát előzőleg meghatároztuk, $d_2=2,34 \cdot 10^8 \text{km}$.

Ahhoz, hogy a keresett irányt meghatározzuk már csak egy szögfüggvényt kell elvégeznünk:

$$\cos \alpha = \frac{d_2}{D_2} \rightarrow \alpha = 17^\circ$$

A műholdak által 17 fokos szögben volt érzékelhető a 2000. május 16-án bekövetkezett gammakitörés.

Érdekesség:

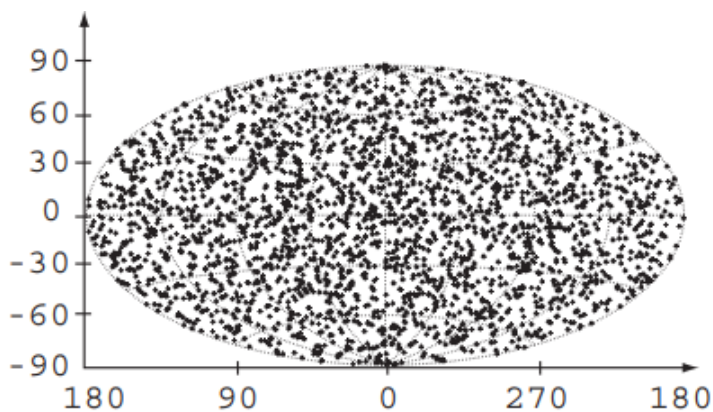
Az S2-vel jelölt műhold a példánkban a Swift volt. Egyike azon műholdaknak, amelyekkel meghatározzák a gammakitörések irányát. Ezen több szatellit dolgozik egy időben, mint három, aminek több oka is van:

- adott időközönként leváltják őket
- egy újabb, fejlesztett változatot küldenek fel,
- könnyen meghibásodhatnak,
- több adattal könnyebb eredményre jutni.

5. Gammakitörések távolsága

Ahhoz, hogy a gammakitörések fizikai tulajdonságait tudjuk meghatározni, először is ismernünk kell, hogy mennyi energiát bocsátanak ki. Ehhez viszont tudnunk kell a forrás távolságát, hiszen minél messzebb helyezkedik el, annál nagyobb energiamennyiséggel kell rendelkezzen, hogy a Földről is észlelhető legyen.

Miután érzékelték a detektorok a gammakitörést és meghatározták a forrás irányát, ezután ezt az adatot rögzítették egy Aitoff térképen. Ahogy egyre több és többet észleltek egyre jobban megtelt a térkép, megfigyelhető volt egy szabályosság az elhelyezkedésükben. Egyenletesen eloszlást mutattak, az adatgyűjtés eredményeként a 6. ábrát kapták:



6. ábra

A tananyag ábrája

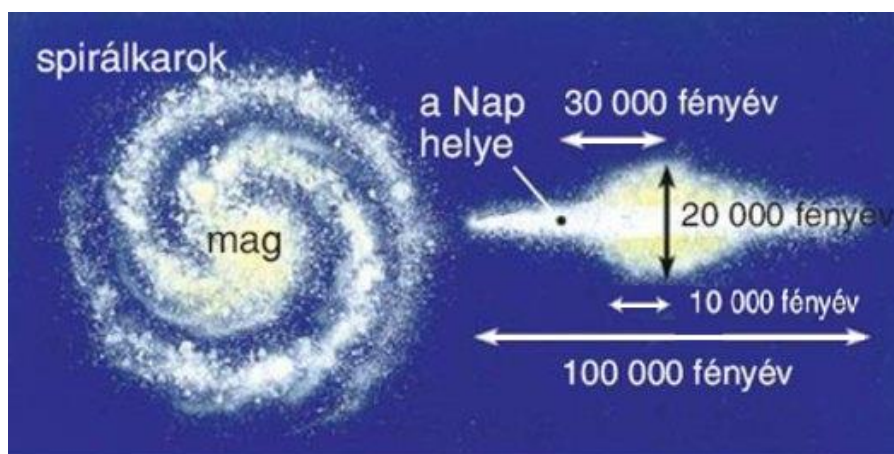
Mivel ez a „térkép” egy kétdimenziós síkfelület, így az nem mutatja a források távolságát, csak azoknak viszonylagos irányát. Ez olyan, mint amikor felnézünk az égre. Ekkor lehet, hogy úgy tűnik, hogy két csillag egymáshoz nagyon közel van, de a valóságban lehet, hogy

hihetetlenül messze helyezkednek el egymástól. Mi nem tudjuk azt érzékelni, hogy egy csillag milyen távol van tőlünk, erre csak következtetni tudunk. A GRB-knél is ugyanez a helyzet.

Felmerült a kérdés, hogy akkor mégis milyen távol vannak tőlünk? Közel (a Naprendszerünkben), egy közepes távolságban (a Galaxisunkban) vagy nagyon messze?

5.1 Közepes távolság esete:

A Galaxisunk (Tejútrendszer) a képen látható (7. ábra), lemez/diszkosz alakú, átmérője nagyjából 100 000 fényév. Közepén egy körülbelül 10 000 fényévnyi átmérőjű sűrűsödés található. A Nap a Galaxisunk középpontja és széle között helyezkedik el félúton, úgy 30 000 fényév távolságra a középponttól. Onnan tudjuk, hogy kizárható ez a távolság, mivel más lenne a GRB-k eloszlása, ha ezek a Galaxisunkban történének: a sűrűsödés felé



7. ábra

Forrás:

https://www.mozaweb.hu/lexikon.php?cmd=getlist&let=IMAGE&sid=FOL&order_type=new&pg=53

nézve lényegesen több házat fogunk látni, mint ami magunk körül van. Viszont, ha a belvárosban vagyunk és körbenézünk, akkor minden irányban házakat látunk. Másik példa erre egy koncert, ahol sok ember van és majdnem mindenkinek be van kapcsolva a vaku a telefonján. Abból, hogy merre látunk több világító pontot, meg tudjuk mondani, hogy a tömeg közepén vagy szélén vagyunk. Középen minden irányból nagyjából ugyanannyi pontot látunk, míg, ha a szélén vagyunk, akkor arrafelé látunk több pontot, ahol több az ember. Ezek alapján akkor lenne az a feltevés helyes, hogy a saját Galaxisunkban jönnek létre a GRB-k, hogyha a Nap a Tejútrendszer középpontjában helyezkedne el, viszont ez nem így van.

5.2 Ha közel, azaz a Naprendszerünkben lennének a kitörések:

Erre az a magyarázat volt elképzelhető, hogy a Napot körülvevő Oort-felhő a felelős ezekért a jelenségekért. Ez egy üstökösökből álló szféra, amely nagyjából billió kilométer (1-2 fényév) átmérőjű. Nagysága miatt akár a Föld is lehetne a középpontjában, hiszen olyan széles, hogy itt még a Nap-Föld távolság is elhanyagolhatónak számít. Ebben az esetben pont olyan GRB eloszlást észlelünk, mint amit keresünk. Viszont ezzel egy probléma volt, ezek az üstökösök túlságosan kis energiával rendelkeznek ahhoz, hogy magas

sokkal többet látnánk, hiszen ott sokkal több égitest helyezkedik el, ami növeli az esélyt a kialakulásukra.

Ez olyan, mintha egy várost néznénk. Ha úgy döntünk, hogy a külvárosba megyünk egy dombról figyelni a belvárost, akkor azt

energiájú gammakitöréseket hozhassanak létre. Számunkra még ismeretlen, hogy hogyan lennének képesek ilyen égitestek, ekkora energiakibocsátású folyamat kialakítására. Ez alapján nem találtunk a közelünkben a folyamathoz megfelelő jelenséget.

5.3. Nagy távolságokban:

Először is nézzük meg, hogy találunk-e olyan eseményt, amelyre ráillik az eddig felállított séma. Úgy tűnik, hogy igen, de ide is csak feltevések alapján juthatunk el. A következőkben ezt az esetet fogjuk közelebbről megvizsgálni.

A Galaxisok, bár térben nem egyenletesen elszórva találhatóak az Univerzumban, de egy adott pontból nézve közel egyenletesen oszlanak el az égbolton. Számuk közelít a végtelenhez. Így akármilyen ritka események a gammakitörések, mégis egyenletes eloszlást fognak mutatni azon Galaxisok, melyekben keletkeznek. Ezek olyan ritka jelenségek, hogy a Tejútrendszerben még nem figyeltek meg ilyen eseményt, pedig ugyanúgy, mint a többi, valószínűleg a miénk is képes a megfelelő körülmények előállítására. Tehát az egyik feltételünk megvan, már csak a másik vizsgálata szükséges, azaz, hogy találunk-e olyan jelenséget, amely képes ekkora energia előállítására. Ahhoz, hogy a forrástól elérkezzen hozzánk a sugárzás, hihetetlenül nagy energiára van szükség, hiszen ezekben az esetekben nagyon nagy távolságokat kell áthidalniuk.

Ahhoz, hogy könnyebben megértsük, hogy mi is történik itt, képzeljünk el egy lámpát. Ez a lámpa teljesen bevilágít egy nagy szobát, nincs olyan felület, amelyet ne világítana meg. Az innen érkező fény egyenletesen terjed minden irányba, a fénysugarak gömbként veszik körbe a lámpát. Ha mellé állunk egy 1m²-es felületű detektorral, amely a beérkező fényt gyűjti, akkor az általa mutatott érték több mindentől is függeni fog. Függsz a lámpa fényerősségétől, függ attól, hogy milyen távol vagyunk a lámpától és függ a közegtől is (például, hogy van-e közöttünk és a lámpa között valamilyen tárgy, ami árnyékolna, vagy hogy a levegőben van-e olyan anyag, amely megtörheti a fényt). Ezek mind befolyásolják a kapott értéket. A detektor a közvetlenül odaérkező fénysugarakat tudja csak begyűjteni; a többi, ami nem oda érkezik azt nem. A lámpától 10 méterre állunk a detektorral a kezünkben, amelynek felülete a beérkező fény sugarára merőleges (ez azért fontos, hogy a detektor pontosan tudjon mérni). Kiszámíthatjuk, hogy ilyen távolságban a gömbfelület nagysága:

$$r = 10\text{m}$$

$$A = 4 \cdot \pi \cdot r^2 = \underline{1257\text{m}^2}$$

Ez alapján 1257-szer akkora mennyiségű fényt bocsát ki a lámpánk, mint amit a detektorral érzékelünk. Ha ezt a távolságot növeljük, akkor még nagyobb értéket kapunk. Ha 20 méterre vagyunk tőle, akkor 5027-szeres, míg, ha 100 méterre, akkor ez 125664-szeres lenne.

Ezt ültessük át a gammakitörések esetére. Vegyünk egy tőlünk 10 milliárd fényévre kialakult GRB-t, ekkor:

$$r = 10 \text{ milliárd fényév} = (1 \cdot 10^{10} \text{ fényév}) \cdot (9.5 \cdot 10^{15} \text{ m/fényév})$$

$$A = 4 \cdot \pi \cdot r^2 = \underline{1,1 \cdot 10^{53} \text{ m}^2}$$

Azaz 1,1·10⁵³-szoros a valóban kibocsátott energia annak a mennyiségnek, amit mi a detektorral mértünk. Ilyen nagy számot már elképzelni is nehéz. Az érték, amit mi a Földön mérhetünk, csak parányi része annak, amit ténylegesen kibocsátott a gammakitörés.

Még nagyobb távolságok esetén még nagyobb lenne ez a szám.

Nagyon sokáig egyértelműen nem sikerült beazonosítani olyan eseményt, amely kiváltó okként ekkora energia (és ezáltal ilyen nagy mennyiségű gammasugárzás) kibocsátására képes lenne. (Az energia és fény hullámhossza egymással szoros összefüggésben van, ezért lehet energiakibocsátásról és fénykibocsátásról egyszerre beszélni.)

Vannak olyan égitestek, amelyek képesek az összes energiájukat egy sugár mentén kilövellni, így értékrendekkel ($\sim 10^3$) csökkentve a folyamathoz szükséges energiát. Ezeket a kisebb felületre fókuszált sugarakat hívjuk jet-eknek. Visszatérve előző példánkhoz, a valójában kibocsátott energia, ha nyalábban lövell ki nagyjából 10^{51} -szerese lesz a detektorunk által mért energia kétszeresének (mivel nem egy irányban összpontosul az energia, hanem kettőbe a 8. ábrán látható módon). Ekkora energiamennyiségű események már előfordulnak. Ilyenek például a fekete lyukak és a neutroncsillagok energiakibocsátása. Ennek hátránya, hogy csak akkor érzékeljük a kitörést a Földről, ha a jet az irányunkba mutat.



8. ábra
Jet formájában kisugárzó
energia

Forrás:

<https://fineartamerica.com/shop/prints/gamma+ray+burst>

Ezek alapján a gammakitörések nagy távolságokban fordulnak elő és nagy mennyiségű energiájuk jetek mentén sugárzódik ki.

6. Elnevezésük

Mint minden egyes újonnan felfedezett égitestnél, úgy itt is elneveztek minden észlelt GRB-t. Itt nem volt nehéz dolguk, vegyünk példának a **GRB221009A**-t. A három betű benne azt jelöli, hogy gammakitörésről beszélünk, ezután következik az év, hó és nap. Amikor egy nap több kitörést is felfedeznek, akkor a dátum után sorrendben az A, B, C betűjelet adják. (Ha egy nap csak egyet fedeznek fel, akkor az nem kap „A” jelölést, ilyenkor megmarad betű nélkül.)

Szoktak rá a koordinátaik alapján is hivatkozni, ilyenkor egy újabb elnevezést kapnak. Vegyünk ezt a kettő GRB-t: 1156+65; 1935-52
Az első négy szám a rektacszenziót (az első két szám az órát, a második kettő a percek), az utolsó két szám a deklinációt jelöli (a pozitív az északi fekvést, míg a negatív a déli fekvést jelöli).

A gammakitöréseket elnevezni a felfedezési dátum alapján szokták, de ha az égen való elhelyezkedésükre szeretnének hivatkozni, akkor egyszerűbb, ha a koordinátaik alapján is elnevezik őket (ez a katalógusokban gyakran előfordul).

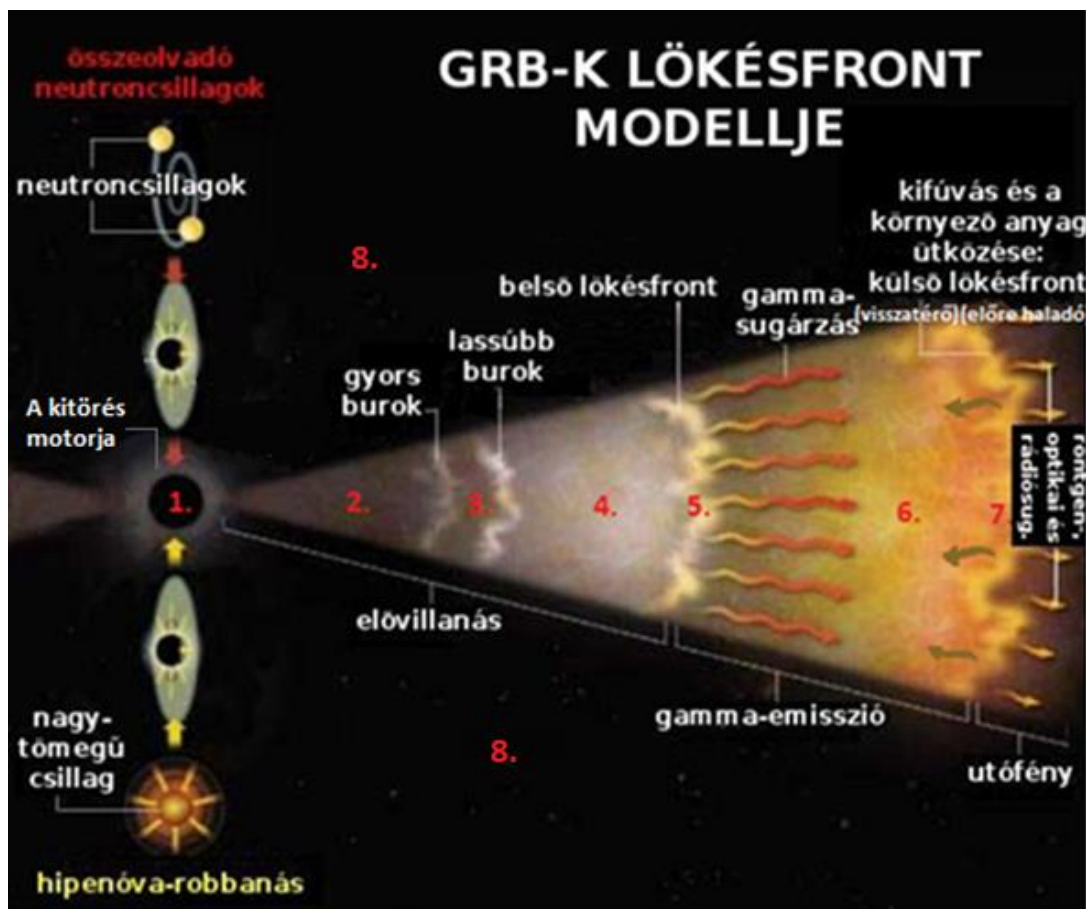
7. A gammakitörés folyamata

Arról még nem esett szó, hogy mi történik ilyenkor a GRB központjában és mi az, amit mi érzékelünk ebből.

A motorban lejátszódó folyamatokra még csak elméletek vannak. Az egyik legelfogadottabb elmélet a tűzgolyó modell vagy másnéven lökésfront modell.

Tűzgolyó-modell:

(ebben a fejezetben a 9. ábrára fogok hivatkozni, az ábrán szereplő számok alapján)



9. ábra

Forrás:

<https://www.csillagaszat.hu/hirek/asztroblog/intervju-a-gammavillanások-magyar-szarmazasu-vezeto-kutatojaval/>
(átdolgozva)

Van egy központi égítüstünk (1.), amelyben hatalmas energia tartózkodik nagyon kis helyen és nagy hőmérsékleten. Itt történik valamilyen pillanatszerű, extrém nagy energiakibocsátású folyamat (pl. két neutroncsillag összeolvadása, vagy egy különösen nagy energiájú szupernóva-robbanás), és az ebből származó anyag és sugárzás nyalábolva (ún. jet-ekben) terjed kifelé. (2.) (3.) (4.), Ennek alkotóelemei nagy energiájú fotonok, valamint nagy sebességű, nagyrészt töltött részecskék, például elektronok, pozitronok, protonok. Ez utóbbiak összessége plazma halmazállapotú lesz, amely egy olyan ritka, extrém hőmérsékletű gázhoz hasonló anyag, amelynek feltétele,

hogy töltött részecskékből álljon. A gammakitörések környezetét „tűzgolyó” -modell néven is szokták emlegetni. Az idézőjel azt jelzi, hogy ténylegesen nem egy tűzgolyóról van szó, hiszen nincsen tűz, nem történik égés, valójában nagy hőmérséklete, energiaáramlása és az ott lejátszódó részecskefolyamatokról kapta ezt a nevet.

A részecskék a felrobbant anyaggal együtt nagyon nagy sebességre gyorsulnak. Mivel a sebességük nagyon közel kerül a fénysebességhez, emiatt relativisztikussá válik ez az esemény. Relativisztikus folyamatnak nevezzük azt a folyamatot, ahol fénysebességhez közeli mozgás van. Ennek egyik jellemzője, hogy ilyenkor a mindennapi világunkra érvényes mozgás-törvények nem érvényesülnek. Azaz, ha egy autó egyenletes sebességgel mozog, az autó sebességét kitudjuk számolni a megtett út és eltelt idő alapján: $v = \frac{s}{t}$. Relativisztikus mozgás esetén viszont nem tudjuk ezt a képletet használni, ebben az esetben van egy szorzó tag, amit Lorentz-tényezőnek nevezünk, jele: Γ . Ennek segítségével lehet meghatározni a folyamat alkotóinak sebességét (és ezáltal a mozgási energiájukat):

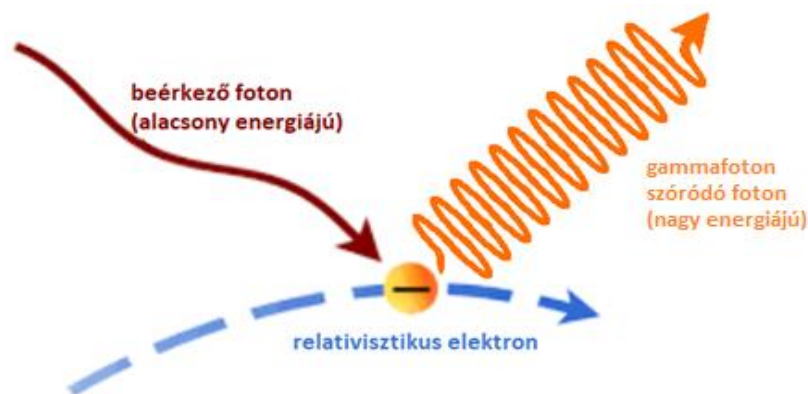
$$\Gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

ahol v : a megfigyelendő alkotó sebessége

c : a fénysebesség

(Érdekesség, hogy a **GRB080916C** nevű gammakitörés jete $\Gamma \sim 880$ -as Lorentz tényezővel volt leírható, amely azt jelenti, hogy sebessége a fénysebesség nagyjából 99,9999%-a volt. Ez volt az idáig detektált legnagyobb sebességű jettel rendelkező GRB.)

Az **5**-ös számú részen történik a modell egyik fő eseménye, a plazma gyorsan mozgó és nagy energiájú, relativisztikus elektronjai összeütköznek a fotonokkal, ezáltal növelve azok energiáját. Ezt hívják inverz Compton-effektusnak. Ilyenkor gammafotonok keletkeznek, amelynek jelölése: γ . A gammasugárzás a modellnek ebből a részéből származik.



10. ábra

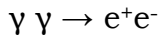
Inverz Compton-effektus

Forrás:

https://www.researchgate.net/figure/Simplified-scheme-of-inverse-Compton-scattering-An-X-ray-photon-is-produced-from-the_fig4_362470548

(átdolgozva és magyar nyelvre fordítva)

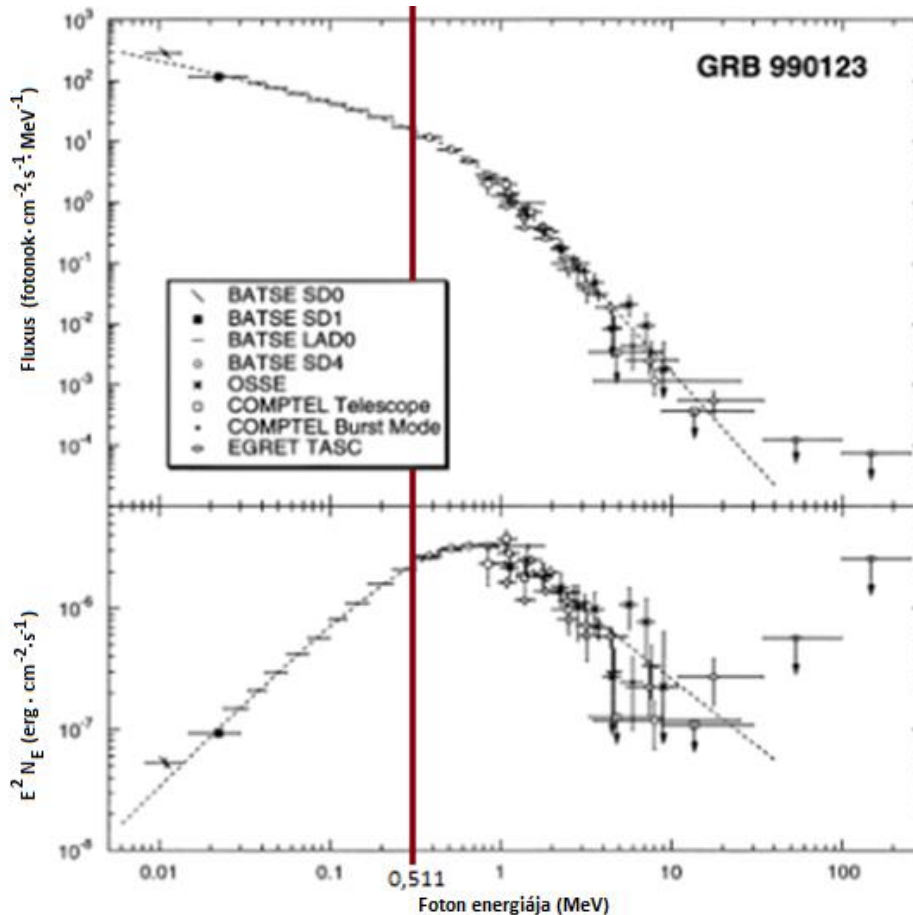
A 6-os számú részen a már kialakult gammafotonokból elektron-positron párok keletkeznek az alábbi módon:



Ezt hívjuk párkeltésnek. Ennek eredményeképpen egy sűrű átlátszatlan felhő keletkezik. Ez a másik magyarázata annak, hogy miért is hívják tűzgolyó-modellnek, hiszen nem látunk át rajta.

Ahhoz, hogy egy gammafoton áttudjon alakulni, egy bizonyos energiaszinttel kell, hogy rendelkezzen. A fotonok energiája gammadetektorokkal mérhető, amely megadja, hogy mekkora energiájú fotonból mennyi van. Ebből spektrumok állíthatók össze, melyeket a 11. ábra mutat.

Ezek a GRB990123-ra vonatkozó adatok, de általánosságban is lehet beszélni róluk, hiszen a legtöbb gammakitörésre nagyon hasonló spektrumok állíthatók fel.



11. ábra

A felső ábra a fotonok számának eloszlását-, míg az alsó az energia négyzete · a fotonok számát mutatja az energiájuk függvényében

Forrás:

https://www.researchgate.net/figure/Left-GRB990123-photon-spectrum-top-panel-and-spectral-energy-distribution-bottom_fig6_287250659
(átdolgozva és magyar nyelvre fordítva)

Erről leolvasható egy energiaérték, amelynél a fotonokból már gammafotonok keletkezhetnek. Ez 0,511 MeV. Amelyik gammafoton nem éri el ezt az energiaszintet az nem tud párkeltés útján elektron-positron párt létrehozni, így azok tovább haladnak a többi anyaggal és részecskével együtt a tágulás irányába. Amelyik viszont eléri, az pedig átalakul. Azaz kellene neki, de mégsem ez történik. Ez azzal magyarázható, hogy nem minden foton

frontálisan (teljesen szemből) ütközik, hanem sok olyan van, amelyek ezalatt valamilyen szöveget zárnak be egymással, emiatt az energiahatár feljebb tolódik.

A létrejött elektron-pozitron párok nem tudnak egymás környezetében sokáig meglenni, így kioltják egymást. Ezáltal újra gammafotonok keletkeznek és a folyamat kezdődik elölről.

Lökéshullámok és az utófénylés:

Problémája a tűzgolyó-modellnek, hogy a kezdetben nagy hőmérsékleti energiával és kinetikus energiával rendelkező, a robbanás miatt folyamatosan táguló „tűzgömbünk” az idő előrehaladtával az összes hőmérsékleti energiáját átalakítaná mozgási energiává. Az energiaátalakulás egy idő után leállna és egy gyorsan mozgó, ám bár hideg anyagunk lenne, ami már nem lenne képes gammafoton létrehozására. (Emlékeztető: a folyamat plazmában játszódik le, amihez extra nagy hőmérséklet szükséges, enélkül nem alakulhatna ki a megfelelő környezet a gammafotonok keletkezéséhez.)

Az a feltevés, hogy vannak úgynevezett lökéshullámok/lökésfrontok, amik hatására a mozgási energia visszaalakul hőmérsékleti energiává. Ebben az esetben újra lenne hőmérsékleti energiája a tűzgömbnek, ami táplálhatná tovább a gammakitörés folyamatát. A lökéshullámok által frontvonalakat állíthatunk fel a modellben. Ilyen a belső lökésfront (5.) és a külső lökésfront (7.). Ezek két különböző módon keletkeznek, amelyeket legjobban összefoglalva egy cikkben találtam meg:

„A gyorsan mozgó belső burkok a korábban távozott, s már lassúbb anyagrétegeket utolérve lökéshullámot generálnak (belső lökésfront), ez a gammasugárzás keletkezésének helye. Ahol a kifúvásokban kiáramló anyag a környező, "nyugodt" területek anyagába ütközik, egy külső lökésfront keletkezik.
[A Scientific American nyomán]”

Forrás:

<https://www.csillagaszat.hu/hirek/asztroblog/interju-a-gammavillanások-magyar-szarmazasu-vezeto-kutatojaval/>

Tehát a külső lökésfronton (7.) az alkotók, (mint például a tovább haladó gammafotonok) a környező területek anyagába ütköznek. Az anyag elnyeli, majd egyre hosszabb hullámhosszon sugározza ki őket. Emiatt gammakitöréskor nem csak gammasugárzást érzékelünk, hanem hosszabb hullámhosszú sugárzásokat is. Először röntgensugárzást, ezután ultraibolyát, majd látható fényt, infravöröst, mikrohullámút és végül rádiósugárzást észlelhetünk, azaz az idő előrehaladtával az elektromos hullámspektrum (lásd: 1. Bevezetés) összes sugárzását érzékelhetjük. Ezt hívjuk a gammakitörések utófénylésének.

Az utóragyogások megfigyelése nehéz, hiszen a kutatóknak pontosan tudniuk kell, hogy mikor, hol és milyen tartományú sugárzást keressenek. Ez kihívást jelent, viszont az egyre fejlettebb műszerek segítenek, hogy egyre könnyebben megoldhatóvá váljon ez a feladat. Az idáig legfejlettebb technika erre, egy űrbeli eszközökből és földi távcsövekből álló hálózat, amelyhez az űrbeli gammatávcsövektől jelzés érkezik gammakitörés esetén, és egyfajta riadóláncként kezdik el a röntgen-, ultraibolya- és egyre hosszabb hullámhosszakon érzékeny berendezések is követni a felvillanás utófénylését.

Így épül fel a tűzgolyó-modell, ami a gammakitörések körüli kételyek jó részét eloszlatja, emiatt ezek legelfogadottabb modelljévé vált.

8. A fotonok vizsgálata a gammakitörés folyamán

8.1 A kisugárzás módja:

A fotonok detektálása fontos szerepet játszott a gammakitörések kutatásában, hiszen ez alapján mondhatták ki, hogy az energia nem izotrópikusan (minden irányba), hanem jetek formájában sugárzódik ki. Ezt fogjuk most közelebbről megnézni, vázlatpontokba szedve. Ez a rész visszatekintést nyújt az előző fejezethez és a tűzgolyó-modellnek kisebb összefoglalásaként is szolgál.

(Az ehhez tartozó számok a lökésfront-modell képén található, azaz a 9. ábrán levő számokkal egyeznek meg.)

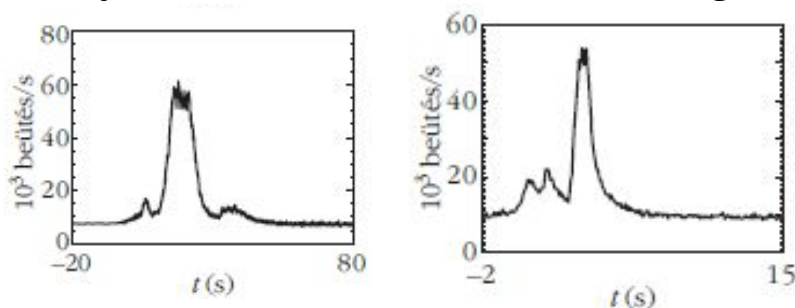
1. Itt található a „motor” (angolul engine, a folyamat forrása), amely az egész folyamat létrejöttéért felelős. Itt még nincsenek detektálható fotonok.
2. Ebben a térrészben olyan nagy sűrűség uralkodik, hogy az itt található fotonok nem tudnak innen kijutni, így nem detektálhatóak.
3. Ezt hívják a gammakitörés fotoszférájának. Itt sincsenek még detektálható fotonok.
4. Ebben a térrészben már vannak detektálható fotonok, hiszen az anyag terjedésével, tágulásával a sűrűség csökkent.
5. Első lökeshullámfront: A gammasugárzás keletkezésének helye. Vannak detektálható fotonok.
6. Ebben a térrészben történik a párkeltés, emiatt optikailag átlátszatlan a közeg. Itt is vannak detektálható fotonok, abból következőleg, hogy nem az összes gammafoton alakul át elektron-pozitron párrá. Ezek tovább haladnak a következő lökeshullámfrontig, majd ennek kis része a közeg anyagával találkozáva visszafelé indul meg. Ezek nem segítenek az utófénylés létrehozásában, inkább a folyamat fenntartásában játszanak szerepet.
7. Második lökeshullámfront: az utófénylés létrejöttének helye. Itt is vannak detektálható fotonok.
8. Itt nem voltak detektálható fotonok.

Ha izotrópikusan sugárzódna ki az összes energia, akkor a **8**-as számú részekben is lennének detektálható fotonok, ugyanúgy, mint a **4**, **5**, **6**, és **7**-es térrészekben. Mivel itt nem találtak ilyeneket, emiatt következtethettek arra a tudósok, hogy az energia nyalábok mentén sugárzódik ki.

8.2 A gammakitörések fénygörbéi:

A fotonok feltérképezésekor nem csak azt nézték, hogy hol volt detektálható foton, hanem azt is, hogy hány darab volt az adott térrészben belőle. Több időpillanatban is megvizsgálták a fotonok számát és ebből egy grafikont hoztak létre. Ennek a neve fénygörbe, amely a fotonok számát ábrázolja az idő függvényében.

Minden észlelt gammakitörésnek elkészítették a fénygörbéjét, ez segít a GRB-k tulajdonságainak meghatározásában. Ilyen tulajdonság például a csúcsintenzitások száma, a fénygörbében levő szimmetrikusság, a gammakitörés időbeli hosszúsága, az ismétlődés és hogy volt-e esetleg a kitörés előtt előfutár esemény. A csúcsintenzitáson a legmagasabb beütésszámot, azaz adott részen a legtöbb foton érzékelését értjük. Előfutár eseménynek pedig azt nevezzük, amikor egy gyors, gyengébb intenzitásnövekedés jelzi előre a később bekövetkező valódi gammakitörést:



12. ábra

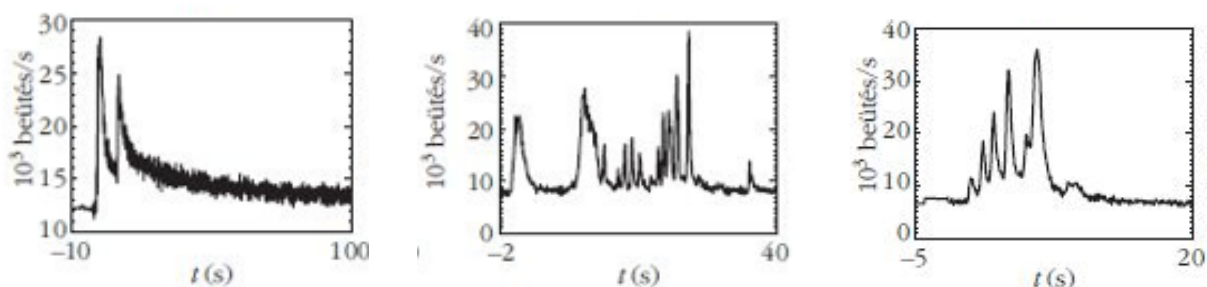
Előfutár eseménnyel rendelkező két gammakitörés fénygörbéje

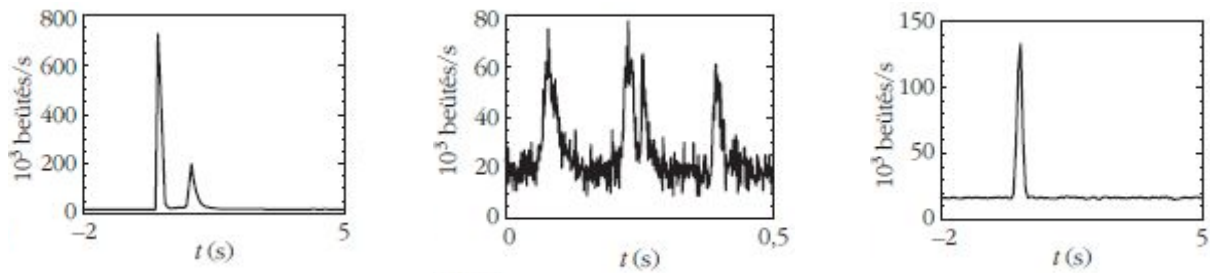
Forrás:

<http://fizikaiszemle.hu/archivum/fsz1111/balazs1111.html>

A hirtelen intenzitás-változásokat a lökeshullámokkal magyarázzák.

A fénygörbék elemzésekor voltak olyanok, amelyek egyetlen csúcsintenzitással rendelkeztek, és voltak olyanok, amelyek többel is. Voltak, amelyek szimmetrikusak, de voltak olyanok, amelynél a gyors intenzitásnövekedést lassú csökkenés vagy fordítva, a lassú intenzitásnövekedést gyors csökkenés követte. Egy részük kaotikus fénygörbével rendelkezett. Nem volt kettő olyan kitörés, amelynek „gammafénygörbéje” megegyezett volna egymással, közel minden paraméterükben eltértek. Még a mai napig nem ismerik pontosan a gammakitörések fénygörbéi közötti eltérések okát.





13. ábra

Néhány kitörés „gammafénygörbéje”

Forrás:

<http://fizikaiszemle.hu/archivum/fsz1111/balazs1111.html>

A fentebb említett tulajdonságokból (csúcsintenzitás, szimmetria, időbeli hosszúság, ismétlődés és előfutár esemény) kettő lett csoportalkotó: ez a gammakitörés hosszúsága és az ismétlődés. Ezek alapján három főbb csoport különíthető el egymástól: hosszú, rövid és ismétlődő gammakitörések.

Vannak olyanok is, amelyeknél még nem egyértelmű, hogy külön csoportról van-e szó, vagy csak az előző csoportok közül valamelyiknek szélsőséges esetei. Ilyenek például az ultrahosszú gammakitörések és a közepes gammakitörések.

Egy „gammafénygörbéről” nem feltétlenül lehet pontosan leolvasni, hogy a GRB melyik csoportba sorolható, pont a szélsőséges esetek miatt. Azt, hogy egy GRB melyik csoportba tartozik, a kitörés forrása határozza meg.

9 Csoportosításuk

Többféle elmélet látott napvilágot a jelenségek létrejöttére, és sokuk még a mai napig nincsen bebizonyítva. A kitörések jellemzői eltértek egymástól, nincs kettő egyforma GRB, így nehéz dolga volt a tudósoknak a csoportosításukor.

A megfigyelés eredményeként három főbb csoportba osztották a jelenségeket:

- hosszú gammakitörések
- rövid gammakitörések
- ismétlődő gammakitörések

Kettő olyan csoportot is találtak, amiket még főbb csoportokként nem lehet említeni, hiszen még tudományos táptalajuk nem elég erős hozzá:

- ultrahosszú kitörések
- közepes kitörések

9.1 Hosszú kitörések

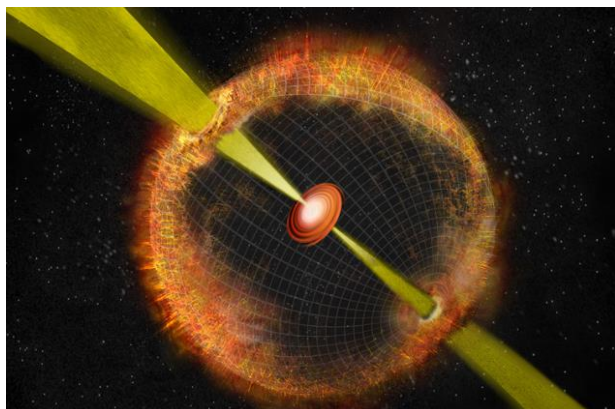
Ha egy kitörés 2 másodpercnél hosszabb, akkor már hosszú kitörésnek számít. Ezek néhány percig is eltarthatnak, az átlagos időtartamuk körülbelül fél perc.

Az ismert gammakitörések kb. kétharmada a hosszú kitörések csoportjába tartozik.

A legelfogadottabb elmélet a keletkezésükre a hipernóva/kollapszár modell. Egy minimum 40 naptömegű csillag halálakor (hipernóva) a csillag külső burka összeroppan, a közepén pedig létrejön egy fekete lyuk vagy neutroncsillag. Eközben az energia robbanás formájában felszabadul, ez okozza a gammakitörést. A hatalmas mennyiségű energia a robbanás során nem terjed szét minden irányban, hanem egy sugár mentén (jetként) kilövell.

A haldokló csillag fontos kritériumoknak kell, hogy megfeleljen (legalább 40 naptömegű, gyorsan forog), hogy hosszú kitörést okozzon, de ezek teljesítésével sem biztos, hogy a folyamat létrejön.

A hipernóva/kollapszár modellre 2003 elején sikerült helytálló bizonyítékot találni. Az akkor detektált **GRB030329** jelű gammakitörés utófénylésének optikai színe csaknem megegyezett az SN1998bw jelű, 1998-ban felfedezett szupernóváéval. További elemzések során még több hasonlóságot találtak közöttük, amelyek alátámasztották a modell valós jellegét.



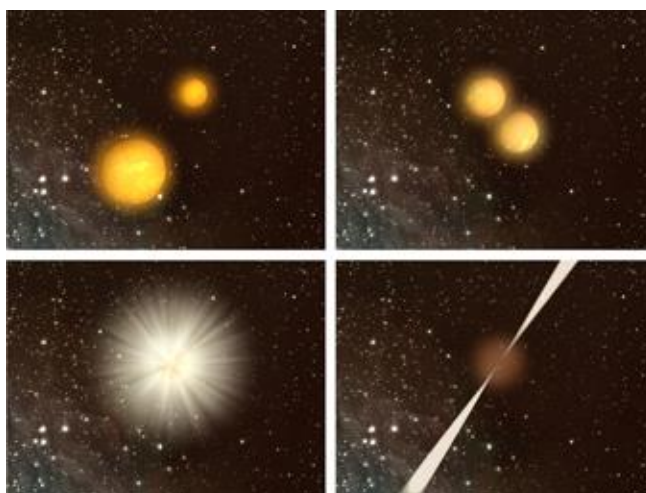
14. ábra

Forrás:

<https://scientias.nl/voor-het-eerst-de-nagloed-van-een-gemiste-gammaflits-gespot/>

9.2 Rövid kitörések

Néhány ezred másodperctől 2 másodpercig tarthatnak, átlagos időtartamuk 0,3 másodperc. Kozmológiailag jóval közelebb helyezkednek el, mint a hosszú gammakitörések és kevesebb energiát is bocsátanak ki. Energiakibocsátásuk, illetve rövidségük miatt, sokáig nem tudták detektálni őket. Mikor már sikerült (a Swiftnek köszönhetően találták meg a rövid kitörések forrásait), a kutatók észrevették, hogy keletkezésük jóval eltér az eddigi modelltől. Arra a feltételezésre jutottak, hogy a rövid kitörések egy kéttagú rendszer egyesülésével jöhetnek létre. Azaz két neutroncsillag vagy egy neutroncsillag és egy fekete lyuk vagy két fekete lyuk összeolvadásával keletkezhetnek.



15. ábra

Forrás:

<https://www.scienceinschool.org/hu/article/2008/fusion-5-hu/>

A feltételezésre az utóbbi időkben sikerült közvetlen bizonyítékot találni: egy-két esetben összetudták kötni a rövid kitöréseket gravitációs hullámok megfigyelésével. Ilyen volt a **GRB170817A** is, amikor gravitációs hullámok műszeres érzékelése után nagyjából két másodperccel később a Fermi gamma-űrtávcső gammakitörést érzékelt. Számítások alapján meghatározták, hogy összeolvadó objektumok okozták a gravitációs hullámokat. Elektromágneses tartományban végzett mérések igazolták, hogy ezek az égitestek neutroncsillagok voltak, a folyamat közben pedig gammakitörés játszódott le.

9.3 Ismétlődő kitörések

Érdekes jelenség tűnt fel a megfigyelések során. Volt olyan forrás, amelyből több kitörés is érkezett. Ez másfajta objektumot, tulajdonságokat és keletkezési körülményt jelent, mint az eddigiek. Voltak, amelyek periodikusságot (adott időközönként ismétlődtek) és voltak, amelyek véletlenszerűséget mutattak. A gammakitörésekre jellemzően közöttük sem volt kettő teljesen egyforma, de ettől függetlenül voltak bennük közös tulajdonságok, amelyek szerint csoportosítani lehet őket.

A lágygamma ismétlők (SGR, Soft Gamma Repeater) nevüket onnan kapták, hogy a kisugárzás tartománya a lágygamma tartományban van. Ez azt jelenti, hogy nem hoz létre olyan erős gammakitörést, mint az eddigi égitestek, egy leheletnyit kisebb energiájú folyamat. Kialakulásukat egy erős mágneses mezejű neutroncsillag okozza (ezeket hívjuk magnetároknak). A mágneses mezejük olyan nagy, hogy a neutroncsillag burkát elmozdítja, nagyjából úgy, mint a Földön egy földrengés. Ez olyan nagy energiájú folyamat, hogy képes gammakitörést létrehozni. Ahogy ez megtörtént a mágneses tér megint felépíti

azt a feszültséget a magnetárban, amely majd később egy újabb kitöréshez vezethet.

(A kitöréseket produkáló röntgenkettősök (XRB, X-Ray Burster) is ismétlődő kitörések, amelyek keletkezése ugyancsak neutroncsillaghoz köthető. Ezek abban különböznek a lágygamma ismétlőktől, hogy a nevükből is adódóan nem a gamma tartományban sugároznak, hanem röntgenben. (Tehát ezek már nem is gammakitöréseknek, hanem röntgenkitörésnek számítanak, csak egy említésre méltó csoport az ismétlődő kitörések között.) Neutroncsillaguk gyengébb mágneses erejű magnetár, mint az SGR-eké. Kéttagú rendszer tagja, amely a másik csillagtól anyagot von el, majd ezt lerobbantja magáról, ezzel a robbanással keletkeznek a röntgenkitörések. Ez addig ismétlődik, amíg a társ csillagnak van elvonható anyaga vagy amíg a neutroncsillag képes magához vonzani azt. Esetleg előfordulhat csillag és fekete lyuk kettőseként is.)

9.4 Ultrahosszú kitörések

Olyan külön csoportként még nem azonosított gammakitörések, amelyek akár 10000 másodpercnél is tovább tarthatnak (nagyjából három óra). Idáig a legkevesebbszer látott jelenségek a gammakitörések között, nagy valószínűséggel az eszközök fejletlensége okozhatta, hogy ilyen kevésszer tudták csak megfigyelni őket. Létrejöttüket okozhatta kék szuperóriás (a Napnál nagyobb, de egy vörös szuperóriásnál kisebb csillag) összeomlása, árapály-zavar esemény (egy égitest közel kerül egy nagyon nagy tömegű fekete lyukhoz, ami beszippantja azt) vagy egy magnetár születése. A kutatók bizonytalanok, hogy vajon lehet-e őket külön alcsoportba sorolni, vagy esetleg az eddigi csoportok valamely szélsőséges változatai, de az eddigiéktől eltérő tulajdonságok (például a létrejöttük körülményei) miatt nagy esély van arra, hogy később majd egy külön csoportot alkothatnak.

9.5 Közepes kitörések

Magyar kutatók által nemrégiben felfedezett új csoport. Nagyon kevés olyan gammakitörést sikerült detektálni, amelyek beleillenek ebbe a csoportba, így különválasztásuk még nem indokolt. Forrásuk nem ismert. Eddig annyit lehet róluk tudni, hogy átlagosan 2-15 másodpercig tartanak (ez sem egyezik meg mindenhol, valahol 2-8 s-os, valahol pedig 2-10 s-os időtartamra végezték az elemzéseket) és égi eloszlásuk nem egyenletes (anizotróp). Ez utóbbi a gammakitöréseknél eddig meghatározó volt (lásd: 5. *Gammakitörések távolsága*), ha betudnák bizonyítani, hogy ezek valóban anizotróp módon helyezkednek el, akkor ezzel nem csak egy új csoportot, hanem külön ágát fedeznék fel a gammakitöréseknek.

A csoportosításukat táblázatban összefoglalva:

gamma- kitörések	rövid	közepes	hosszú	ultrahosszú	ismétlődő	
					SGR	XRB
átlagos időtartam	0,3 s	2-15 s	30 s	-	ismétlődés	ismétlődés
forrás	két neutroncsillag összeolvadása, egy neutroncsillag- egy fekete lyuk összeolvadása, két fekete lyuk összeolvadása	?	szupernóva/ hipernóva kollapszár modell	kék szuperóriás összeomlása, árapály-zavar esemény, magnetár születése	magnetár	magnetár +csillag, fekete lyuk+csillag

10. Különleges gammakitörések:

A dolgozatom végén szeretnék pár különleges GRB-ről említést tenni (már ha lehet ilyet mondani, hiszen az összes ilyen esemény kivételes a maga módján).

Ezekből az első három gammakitörés már szerepel a dokumentumban. Ezeket bárhol említtem, ott kékkel ki vannak emelve, abból a célból, hogy lehessen tudni, hogy melyikhez tartozik még kiegészítő információ.

GRB030329:

Egyenlítői koordinátái: RA= 10h44m49s; Dec= +21°31'17,4375"
Időtartam: több mint 25 s
Távolság: $1,91 \cdot 10^9$ fényév
Csoport: hosszú kitörések
Utófénylésének optikai színeképe csaknem megegyezett az SN1998sw jelű szupernóváéval. A megfigyelése során több hasonlóságot is találtak közte és egy szupernóva-robbanás között, emiatt a hosszú kitörésekre kifejlesztett kollapszár modell ennek a GRB-nek a segítségével volt igazolható.

GRB170817A:

Egyenlítői koordinátái: RA= 07h56m31s; Dec= -44,133°
Időtartam: körülbelül 2 s
Távolság: $1,3 \cdot 10^8$ fényév
Csoport: rövid kitörések
Gravitációs hullámok érzékelése után körülbelül 2 s-al később a Fermi gamma-űrtávcsöve gammakitörést érzékelt. Elemzések során megmutatták, hogy ezek ugyanabból a forrásból származtak, a gravitációs hullámokat és a gammakitörést keltő neutroncsillag összeolvadása okozta. Ennek a GRB-nek a segítségével tudtak bizonyítékot adni rá, hogy a rövid kitörések valóban bináris rendszerek tagjainak egyesülésével jöhetnek létre.

GRB080916C:

Egyenlítői koordinátái: RA=07h59m23,24s; Dec= -56°38'16,8"
Időtartam: 23 perc
Távolság: $12,2 \cdot 10^9$ fényév
Energia: $8,8 \cdot 10^{54}$ erg = $8,8 \cdot 10^{47}$ J
Csoport: hosszú kitörések
Jet-ének sebessége 99,9999%-a volt a fénysebességnek. Ezzel ez volt az idáig detektálható legnagyobb sebességű jet-tel rendelkező GRB.

GRB221009A:

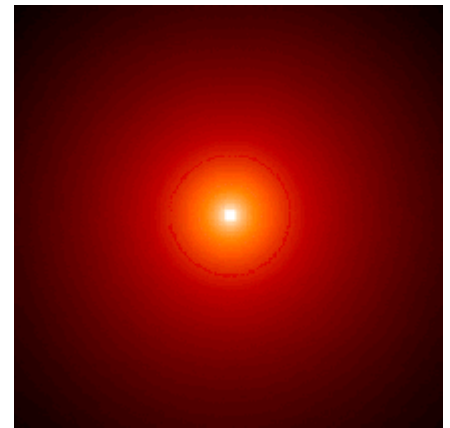
Egyenlítői koordinátái: RA= 19h13m03,48s, Dec= +19°46'24,6"

Időtartam: 10 óra

Távolság: $2,4 \cdot 10^9$ fényév

Csoport: hosszú kitörések

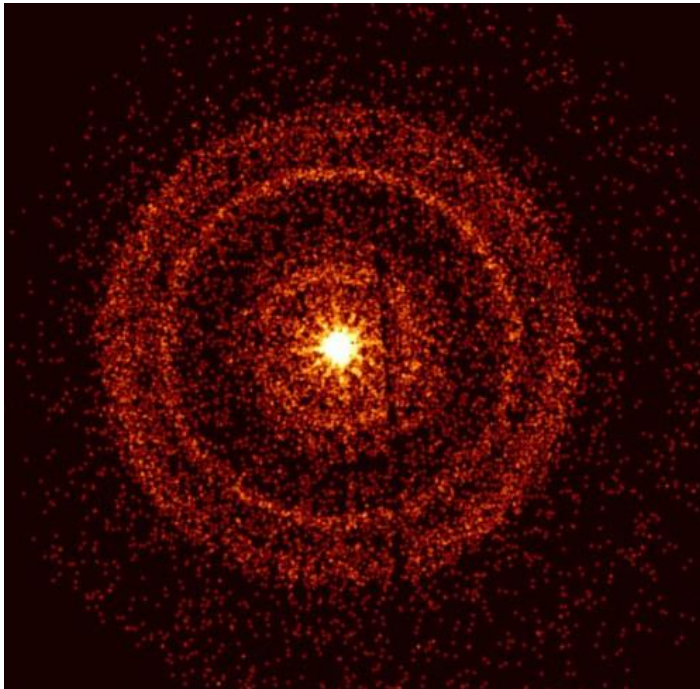
Kivételesen hosszú gammakitörés, az idáig felfedezett legfényesebb GRB, amelynek utófénylése is rekorddöntő. Látható fénytartományú utófénylése is erős volt, ami ritka. Olyan intenzív gammakitörés volt, hogy néhány érzékenyebb műhold detektorai is észlelték az eseményt. Még kivételesebbé teszi ezt az eseményt, hogy jóval nagyobb energiakibocsátás tartozik ehhez a GRB-hez, mint az ebben a közeli távolságban „elvárható” lenne. Olyan nagy energiával rendelkezett, hogy ionizálta a Föld atmoszféráját és megzavarta a hosszú hullámhosszú rádiócsatornák adásait.



16. ábra
GRB221009A a Fermi gamma-
űrtávcsővel felfogva

Forrás:

https://en.wikipedia.org/wiki/GRB_221009A



17. ábra

A NASA SWIFT röntgen-teleszkópja által felfogott GRB221009A jelű gammakitörés. Az utófénylés folyamán keletkezett röntgensugárzás a kitörés után 1 órával volt érzékelhető. A gyűrűket a Galaxisunkban levő porszemcséken szóródó röntgensugarak okozzák, a por a gammakitörés irányába mutatott.

Forrás:

https://ng.24.hu/tudomany/2022/10/18/az-eddigi-legnagyobb-ereju-gammakitores/?utm_source=24_hu&utm_medium=pad&utm_campaign=20220922

Összegzés

A dolgozatot lehetne még folytatni, hiszen minden nap felfedeznek egy gammakitörést, így mindig újabb és újabb információk állnak rendelkezésre. Vannak olyan részek, amiket idáig még nem sikerült feldolgoznom, ezekkel az OTDK után még ki lehetne bővíteni az anyagot:

- a gammakitörések távolságmeghatározása vöröseltolódással
- a fotonok energiájának vizsgálata a kitörések esetében

Tanulságos volt számomra azt megfigyelni, hogy egy olyan jelenséget, amit már évtizedek óta kutatnak, mennyi kérdés övezi. A több mint fél évszázados kutatások miatt már sokat tudnak a gammakitörésekről, de még mindig nem eleget. Sok olyan kérdés maradt megválaszolatlan, ami akár teljesen átírhatja a róluk alkotott képet. Az anyagom elkészítése során is volt olyan, hogy egy részt át kellett írnom, mert újabb kutatási eredményt közöltek, ami részben megváltoztatta az eddigi elképzeléseket. Ekkor újra kellett tervezni és megtalálni a sok elmélet közül azt, ami az új modellre leginkább ráillik. Az ilyen helyzeteket találtam a legkülönlegesebbnek, hiszen olyan érzésem volt közben, mintha én is részese lennék a gammakitörések kutatásának.

Köszönetnyilvánítás

Szeretnék köszönetet mondani konzulensemnek Dr. Szalai Tamásnak a dolgozatom átnézésében végzett munkájáért, segítségéért, felkészítéséért és támogatásáért.

Irodalomjegyzék, források:

- <https://swift.sonoma.edu/gammaRayB/gammaRayPdf.pdf>
- <https://swift.sonoma.edu/grb/allinoneb.pdf>
- <https://www.eso.org/public/hungary/science/grb/>
- <https://scitechdaily.com/scientists-find-evidence-of-orphan-gamma-ray-bursts/>
- <https://www.scienceinschool.org/hu/article/2008/fusion-5-hu/>
- https://hmn.wiki.hu/Galactic_coordinate_system
- <http://atomcsill.elte.hu/Cikkek/FizSzle/Balazs-Horvath-Kelemen.pdf>
- <https://www.youtube.com/watch?v=n2KAKfBWYR0>
- https://en.wikipedia.org/wiki/Gamma-ray_burst
- https://www.youtube.com/watch?time_continue=134&v=XcHwPWBIIH0&feature=emb_title
- https://en.wikipedia.org/wiki/Gamma-ray_burst#Ultra-long_gamma-ray_bursts
- https://ng.24.hu/tudomany/2022/10/18/az-eddigi-legnagyobb-ereju-gamma-kitores/?utm_source=24_hu&utm_medium=pad&utm_campaign=20220922
- <https://ned.ipac.caltech.edu/level5/Sept13/Meszáros/Figures/figure1.jpg>
- http://real.mtak.hu/128640/1/HT_2021-4_cikk_08.pdf
- <https://www.csillagaszat.hu/hirek/asztrofizika-hirek/af-csillagok-vegallapotai/harmadik-tipusu-gammavillanások-magyar-felfedezés-a-swift-urtavcsövel/>
- https://en.wikipedia.org/wiki/GRB_030329
- <https://gcn.gsfc.nasa.gov/other/030329.gcn3>
- <https://gcn.gsfc.nasa.gov/other/221009A.gcn3>
- <https://www.space.com/gamma-ray-burst-brightest-of-all-time>
- <https://en.wikipedia.org/wiki/GW170817>
- <https://gcn.gsfc.nasa.gov/other/G298048.gcn3>
- https://en.wikipedia.org/wiki/GRB_080916C
- https://www.nasa.gov/mission_pages/GLAST/news/high_grb.html
- <https://docplayer.hu/34017940-Szakdolgozat-a-gammakitoresek-id-beli-lefolyasanak-vizsgalata-a-fermi-m-holddal-szecsi-dorottya.html>
- Dálya Gergely: Bevezetés a csillagászatba: 4.3. Koordináta-rendszerek
- Péter Mészáros: The High Energy Universe: Ultra-High Energy Events in Astrophysics and Cosmology, 103-123. oldal: Gamma-ray bursts

1. ábra
<https://tudasbazis.sulinet.hu/hu/szakkepzes/nyomdaipar/szintan/feny-es-szinek/fenytan>
2. ábra:
<http://atomcsill.elte.hu/Cikkek/FizSzle/Balazs-Horvath-Kelemen.pdf>
3. ábra:
<http://www.csun.edu/~boregan/astrolab/manual/unit012.htm>
4. ábra:
<https://swift.sonoma.edu/gammaRayB/gammaRayPdf.pdf>
5. ábra:
<https://swift.sonoma.edu/gammaRayB/gammaRayPdf.pdf>
6. ábra:
<https://swift.sonoma.edu/gammaRayB/gammaRayPdf.pdf>
7. ábra:
https://www.mozaweb.hu/lexikon.php?cmd=getlist&let=IMAGE&sid=FOL&order_type=new&pg=53
8. ábra:
<https://fineartamerica.com/shop/prints/gamma+ray+burst>
9. ábra:
<https://www.csillagaszat.hu/hirek/asztroblog/interju-a-gammavillanások-magyar-szarmazasu-vezeto-kutatojaval/>
10. ábra:
https://www.researchgate.net/figure/Simplified-scheme-of-inverse-Compton-scattering-An-X-ray-photon-is-produced-from-the_fig4_362470548
11. ábra:
https://www.researchgate.net/figure/Left-GRB990123-photon-spectrum-top-panel-and-spectral-energy-distribution-bottom_fig6_287250659
12. ábra:
<http://fizikaiszemle.hu/archivum/fsz1111/balazs1111.html>
13. ábra:
<http://fizikaiszemle.hu/archivum/fsz1111/balazs1111.html>
14. ábra:
<https://scientias.nl/voor-het-eerst-de-nagloed-van-een-gemiste-gammaflits-gespot/>
15. ábra:
<https://www.scienceinschool.org/hu/article/2008/fusion-5-hu/>
16. ábra:
https://en.wikipedia.org/wiki/GRB_221009A
17. ábra:
https://ng.24.hu/tudomany/2022/10/18/az-eddigi-legnagyobb-ereju-gamma-kitores/?utm_source=24_hu&utm_medium=pad&utm_campaign=20220922

Beillesztett cikk: „Interjú a gammavillanások magyar származású vezető kutatójával”:

<https://www.csillagaszat.hu/hirek/asztroblog/interju-a-gammavillanások-magyar-szarmazasu-vezeto-kutatojaval/>