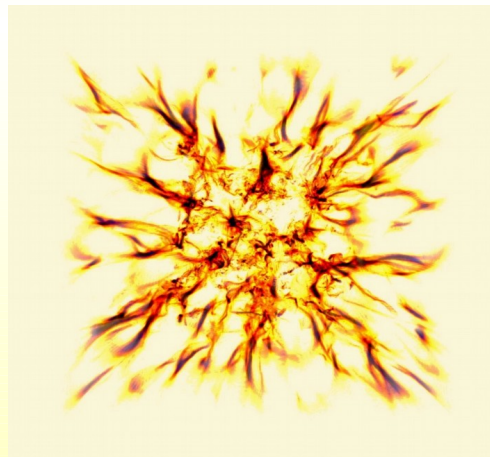


„Izgó-mozgó” sugárzás okozza a gammakitöréseket?

Az előadás a következő cikk alapján készült:

A gamma-kitörések azonnali emissziójának spektrális változékonyságára ajánlott *jitter* modell és ellenőrzése
Modeling spectral variability of prompt gamma-ray bursts emission within the jitter radiation paradigm

Csillagász szeminárium
2009. November 17.



The Astrophysical Journal Letters, Volume 702, Issue 1, pp. L91-L95 (2009)

Szerzők:

*M. V. Medvedev,
S. S. Pothapragada,
S. J. Reynolds*

Előadó: *Szécsi Dorottya*

Áttekintés

- A gamma-kitörésekről általában
 - felfedezésük, kutatásuk
 - spektrális jellemzők, mérési eredmények
 - keletkezésük elmélete
- A cikk ismertetése
 - a jitter sugárzás elmélete
 - numerikus modell leírása
 - a modell eredményei és jelentőségük
- Magyar eredmények

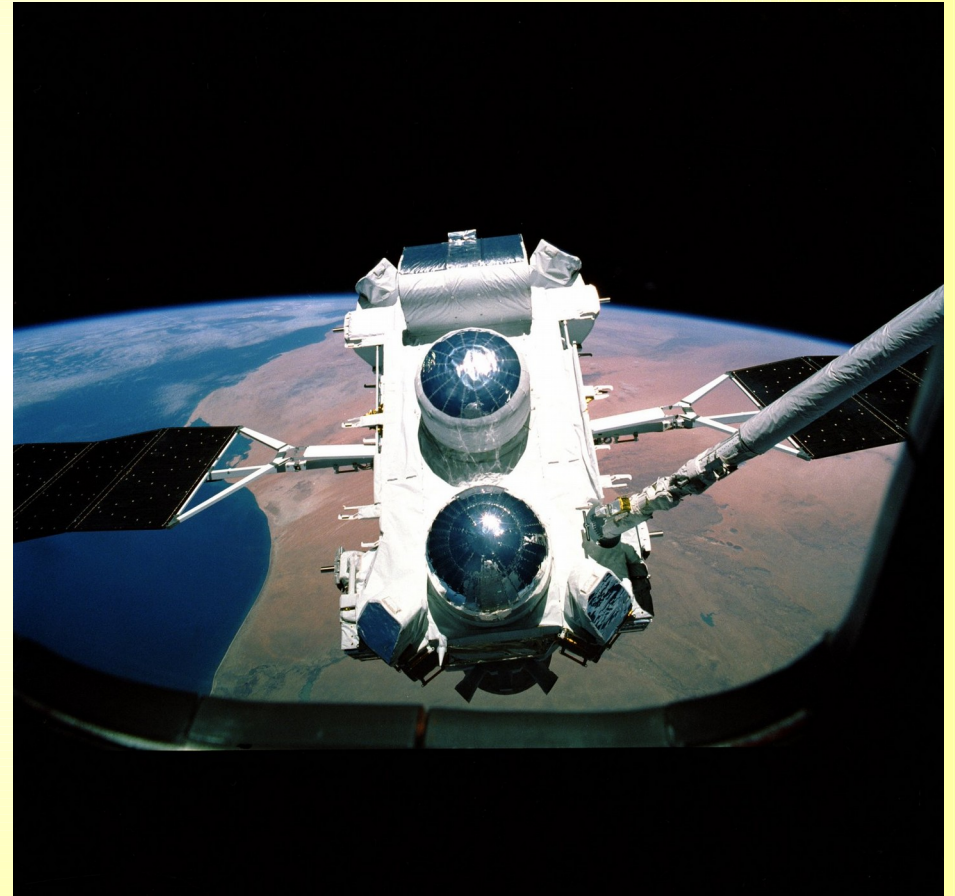
A gamma-kitörések

Felfedezésük:

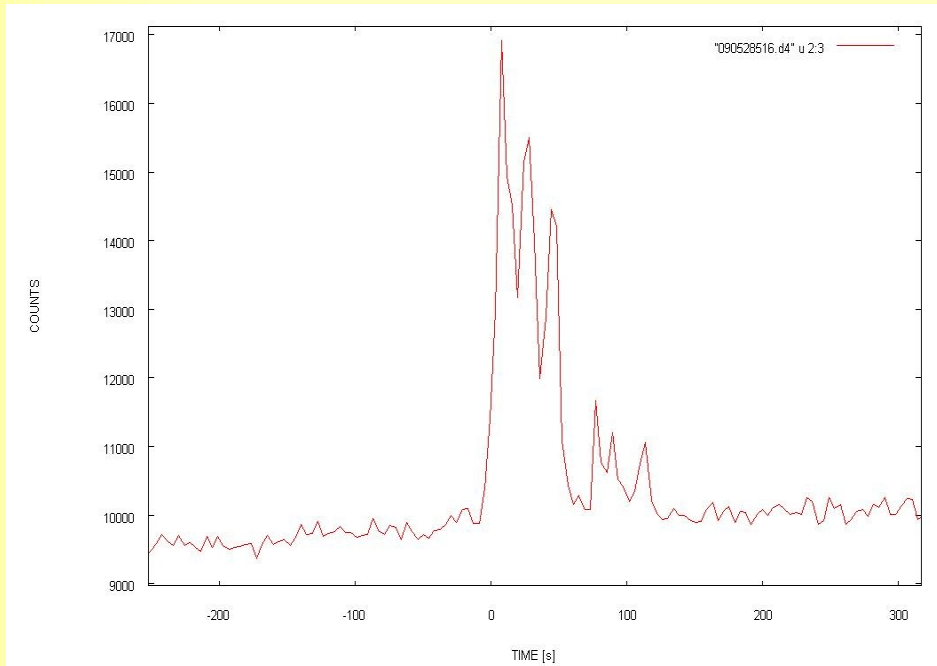
- 1967-ben a Vela műholdak az űrből jövő, nagy energiájú villanásokat detektáltak
- 1973-tól az adatokat nyilvánosságra hozzák, megkezdődik a gamma-kitörések tudományos kutatása

Compton Gamma Ray Observatory (CGRO) műszere: Burst and Transient Source Explorer (**BATSE**):

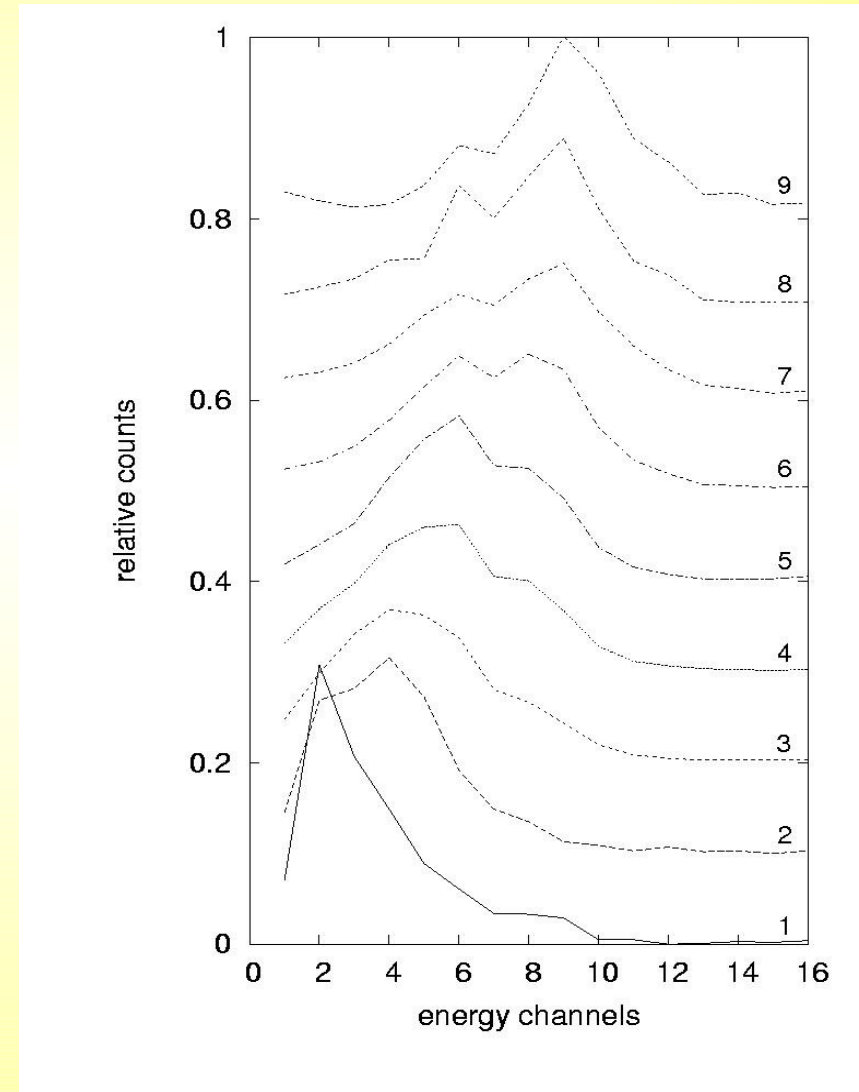
- 20 és 600 keV között
- 1991. április 5-től 2001. június 4-ig



Fénygörbe és spektrum



- Fénygörbe: időbeli lefolyás
 - pulzusok: emissziós események
- Spektrum: energetika
 - görbét illesztnek rá:
maximum, meredekség stb. [5]



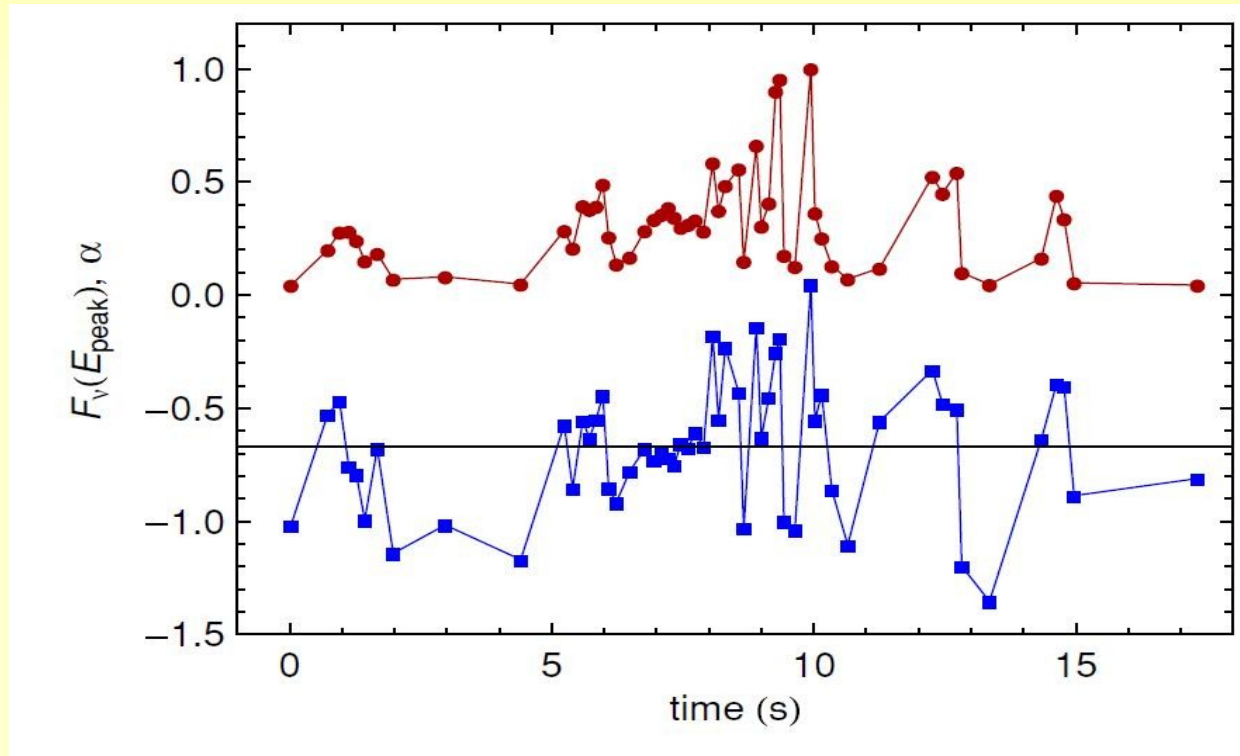
Spektrális jellemzők

- α : alacsony-energiás spektrális index
 - a kitörés spektrumát általában hatványfüggvénnyel illesztik:

$$f(E) = A \cdot (E/E_0)^\alpha$$

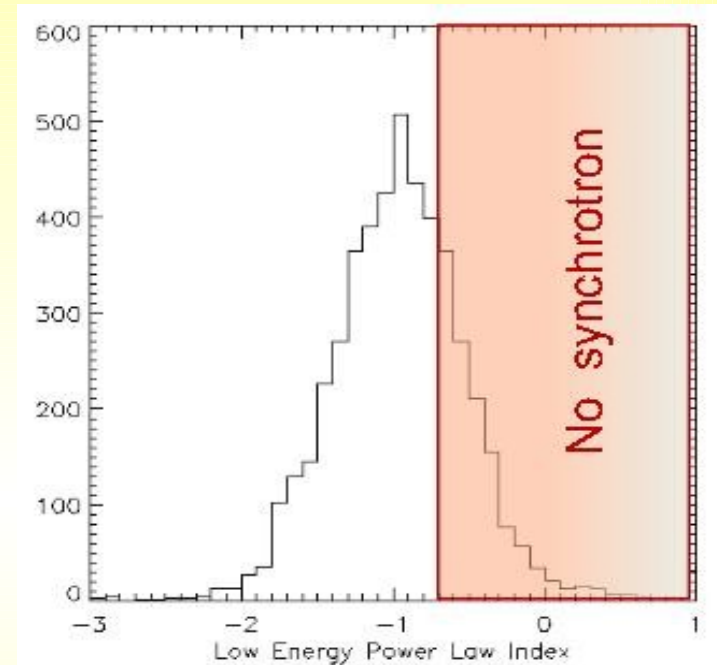
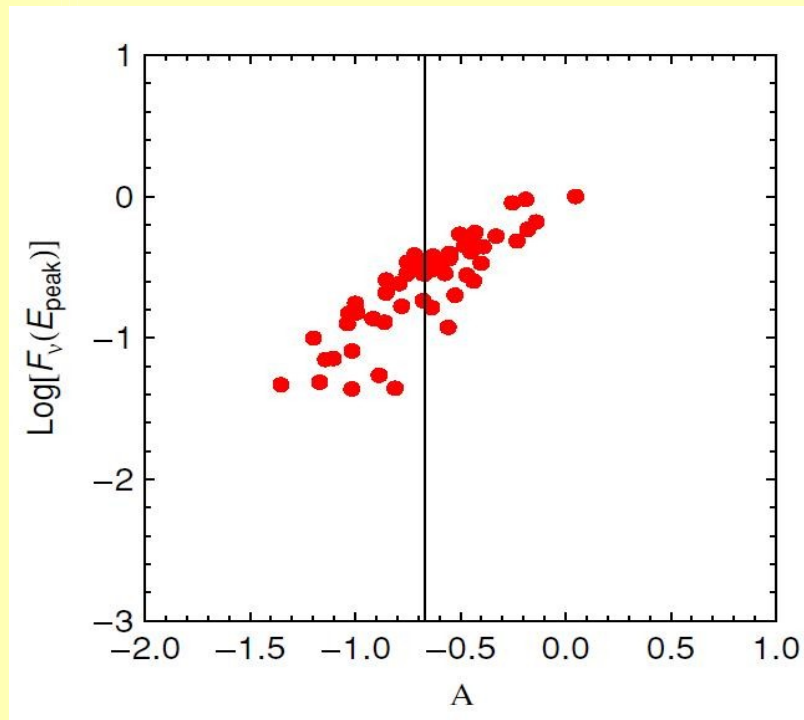
- E_{peak} : az az energiaérték, ahol a νF_ν spektrum a maximumát fölveszi
- $F_\nu(E_{peak})$: spektrum értéke az E_{peak} -nél

Mérési eredmények 1.



- „Követő viselkedés” (Tracking behavior):
 - α (kék) követi az $F_v(E_{peak})$ megfigyelt fluxust (piros)
 - Az általánosan elfogadott szinkrotron modellből ez nem következik.

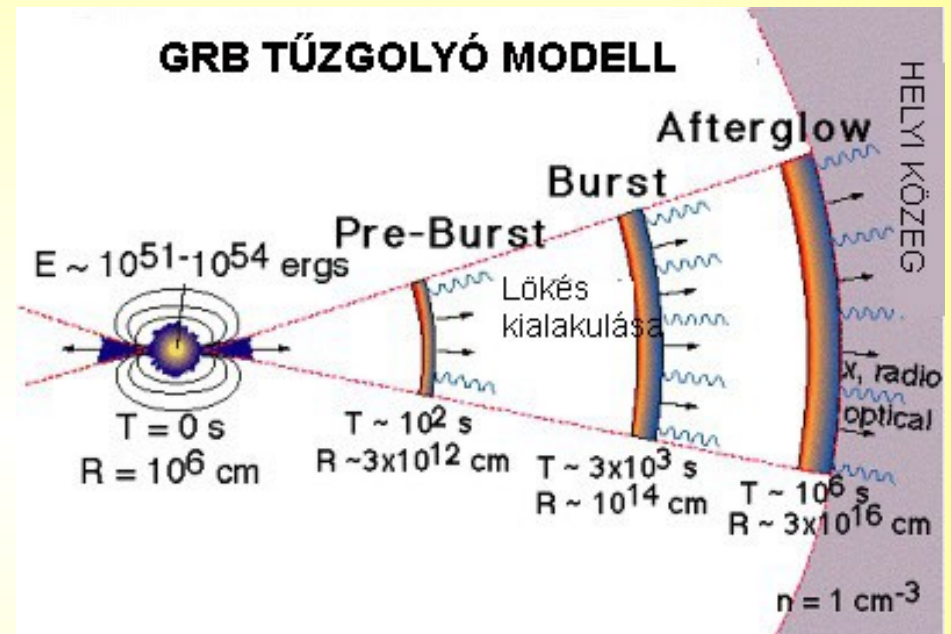
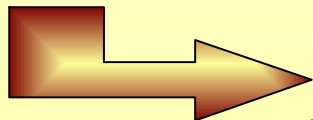
Mérési eredmények 2.



- A szinkrotron modell jóslata („szinkrotron halálvonal”):
 $\alpha \leq -2/3$
 - Nem teljesül!
- Csoportosulás: $\alpha \sim -1$
 - Nincs rá magyarázat a szinkrotron modellen belül.

A robbanás mechanizmusa

- A gammakitörést létrehozó folyamat:
 - robbanás, impulzusmomentum-megmaradás, akkréciós korong, forgástengely irányú nyaláb (jet) relativisztikus sebességgel
 - középén fekete lyuk
 - belső lökeshullám: nyaláb gyorsabb részei utoléri a lassúbbakat, a két vékony plazmaburok **ütközik** (pulzus), **elektronok szinkrotron sugárzása** - gammafotonok
 - külső lökeshullám: a kilövellt nyaláb a külső közeggel (csillagközi anyag) ütközik - utófény (afterglow), lényegesen kisebb összenergia



Azonnali (prompt) emisszió
 \neq Utófény (afterglow)

γ -tartomány \neq Röntgen, UV, optikai
tartomány

2-100 s \neq több nap

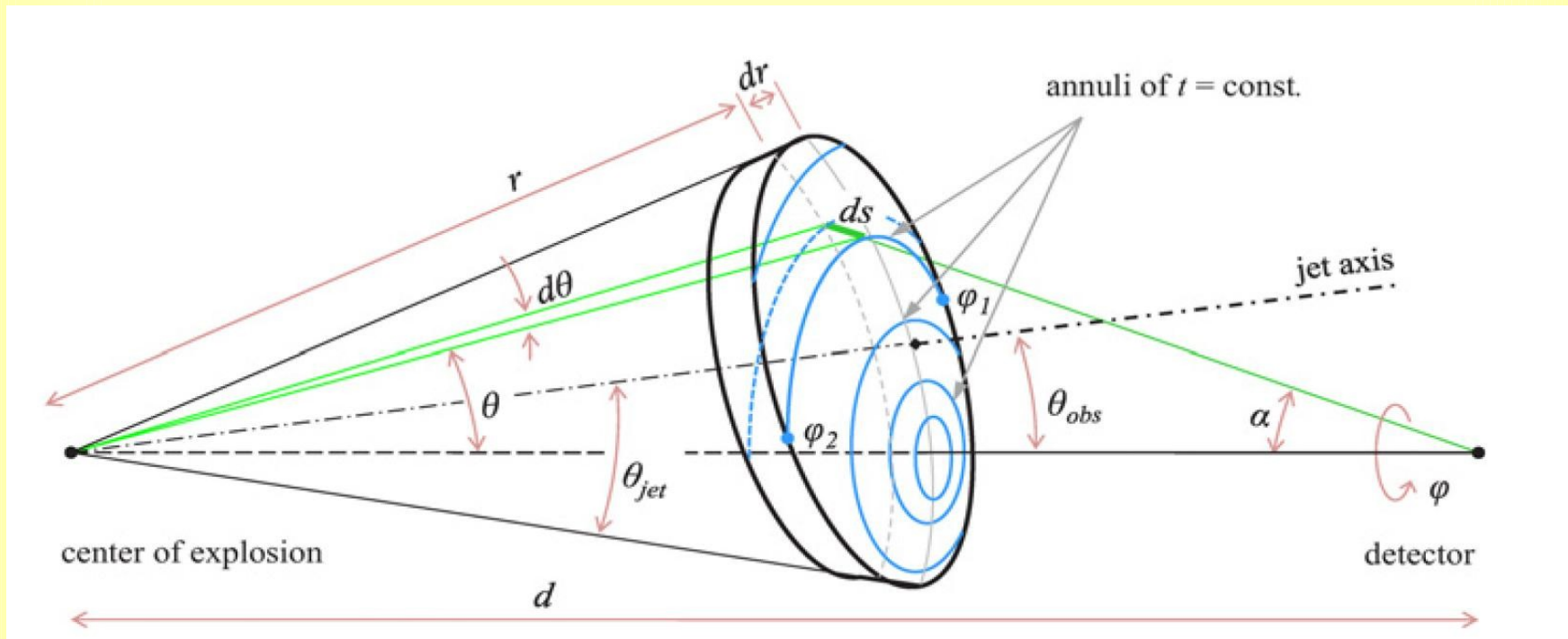
Szinkrotron sugárzás elmélet

- A megfigyelt spektrum nem termális eredetű
- Valószínűleg relativisztikus sebességűre gyorsított elektronok hozzák létre
- Ennek folyamata: szinkrotron sugárzás [6]
 - töltött részecskéket mágneses tér gyorsít (homogén)
 - gyorsulás miatt sugározni kezdenek
 - ha a sebességük relativisztikus: szinkrotron sugárzás
 - relativisztikus hatások: röntgen → gamma

Jitter sugárzás elmélet

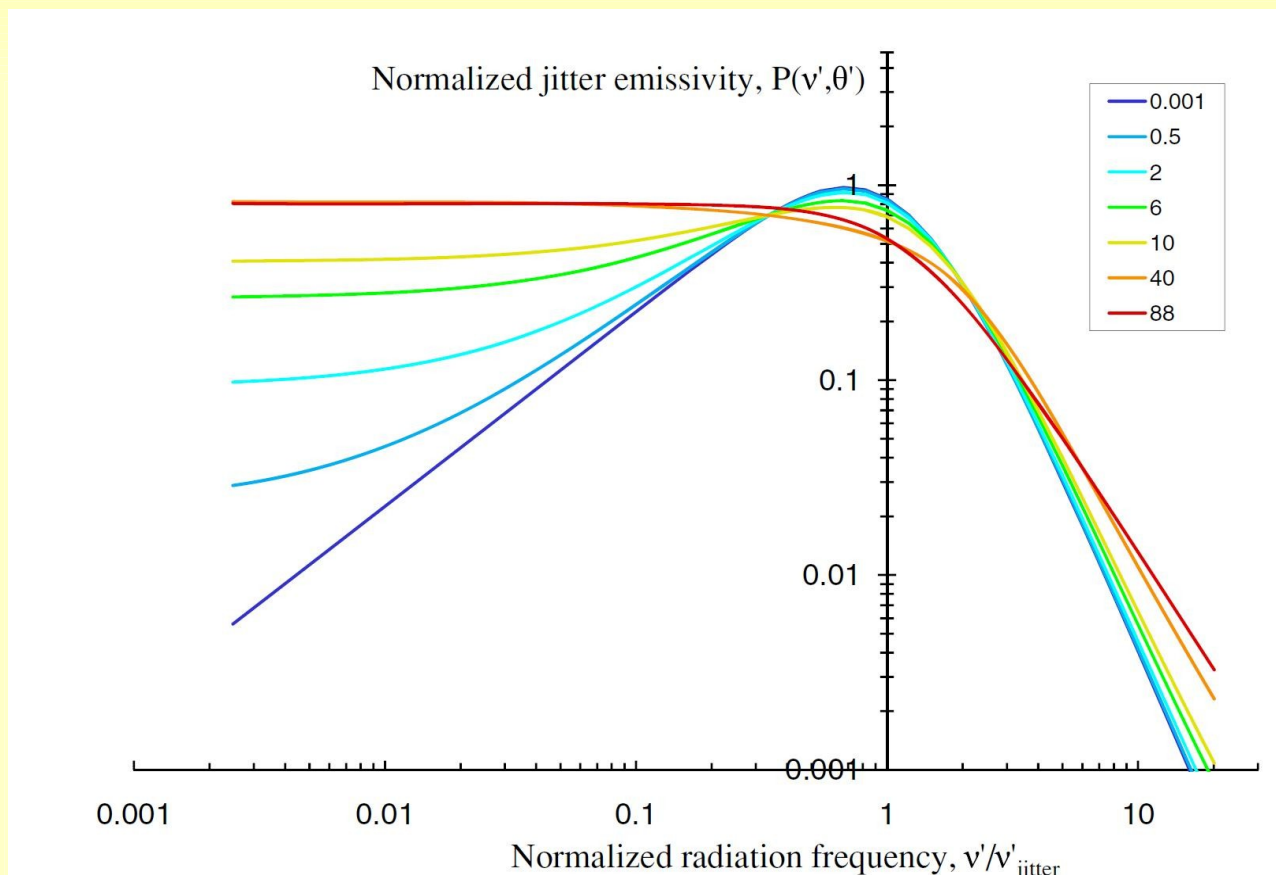
- a kitöréskor létrejött mágneses mező nagyon kis skálán nem egyenletes, hanem véletlenszerű fluktuációkat mutat (inhomogén)
- az elektronok az ilyen típusú mágneses mezőkben *nem* spirális pályán mozognak
- ezért *nem* szinkrotron, hanem ún. jitter sugárzást bocsátanak ki
- → más lesz a megfigyelt spektrum [5]

Numerikus modell 1.



- A látóvonalban ($\theta'=0$) kibocsátott fotonok előbb érkeznek, mint a magasabb szélességeken kibocsátott ($\theta'\sim\theta$) fotonok \rightarrow
- A forrásnál szögfüggő spektrum a detektorhoz időfüggő spektrumként érkezik
 - a szögfüggő spektrumot ($P(\nu', \theta')$) a jitter elméletből számolták
 - az időfüggő spektrum ($F_\nu(t)$) alakját levezették, majd minden θ' -ra numerikusan meghatározták az értékét

Numerikus modell 2.



A jitter elméletből számolt szögfüggő spektrum

Szögek: lilától pirosig

$\theta' = 0,001^\circ; 0,5^\circ; 2^\circ; 6^\circ; 10^\circ; 40^\circ; 88^\circ$

Numerikus modell 3.

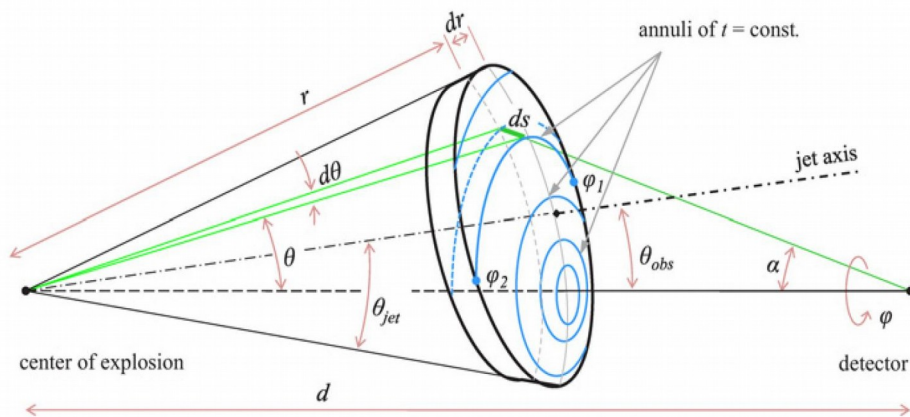
- Az időfüggő spektrum kiszámolása:
 - helyettesítések
 - relativisztikus hatások figyelembevétele
- Az eredmény:

$$F_\nu = \int I_\nu(\alpha, \phi) \cos \alpha d\Omega$$

$$dI_\nu = \frac{1}{(\Gamma(1 - \beta \cos \theta))^2} P(\nu', \theta') n'_e ds$$

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

$$F_\nu(t) = F_0 \mathcal{D}^2(t) P(\nu'(t), \mu'(t)) (\phi_2(t) - \phi_1(t)) , \text{ ahol}$$



$$\mathcal{D}(t) = R/(\Gamma\beta ct)$$

$$\nu'(t) = \nu/\mathcal{D}(t)$$

$$\mu'(t) = (\mathcal{D}(t)\Gamma^{-1} - 1)/\beta, \quad \mu' = \cos\theta'$$

F_0 : normalizációs konstans

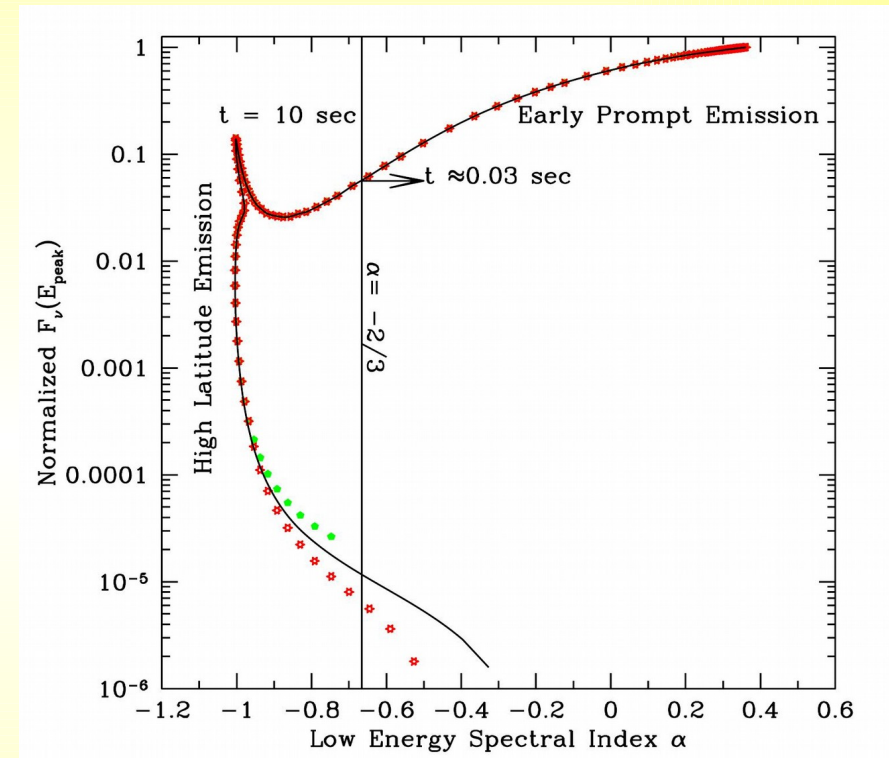
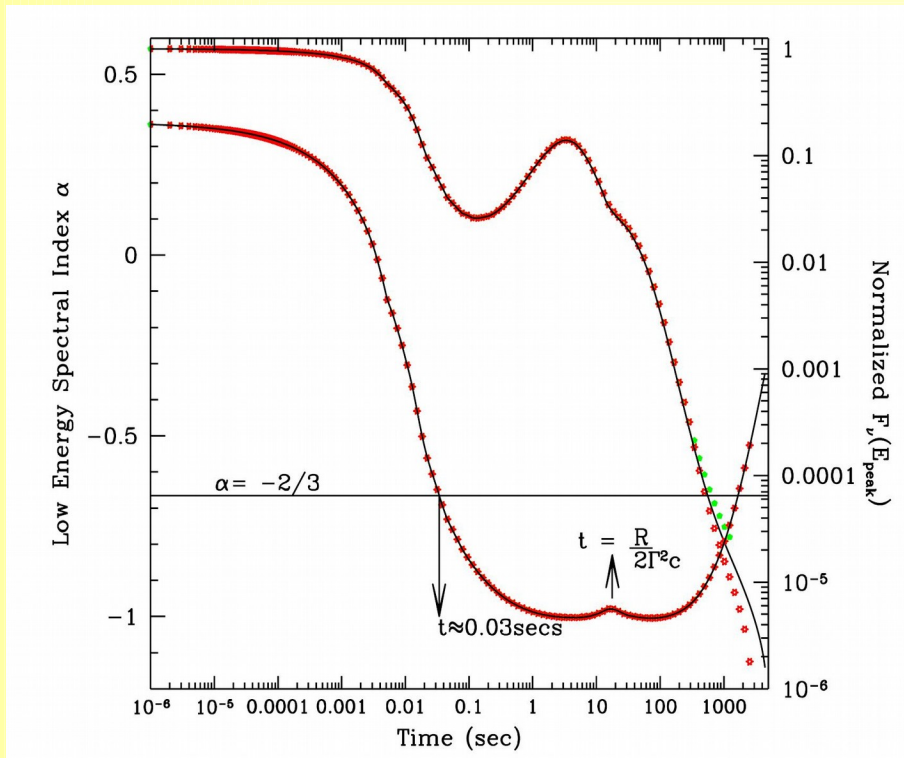
ϕ_1, ϕ_2 : numerikusan számolták ki minden θ -ra

$$\theta \in [0, \theta_{\text{jet}} + \theta_{\text{obs}}]$$

Numerikus modell 4.

- A kapott $F_v(t)$ kifejezi egy pulzus spektrumának teljes időbeli fejlődését.
- A mérési adatokkal való összehasonlításhoz ugyanúgy kell elemezni ezt a modell-spektrumot, mint az igaziakat
→
- Az $F_v(t)$ spektrumokra elvégezték az illesztést → $\alpha, E_{peak}, F_v(E_{peak})$
- Megjegyzés: egy gamma-kitörés sok pulzusból állhat

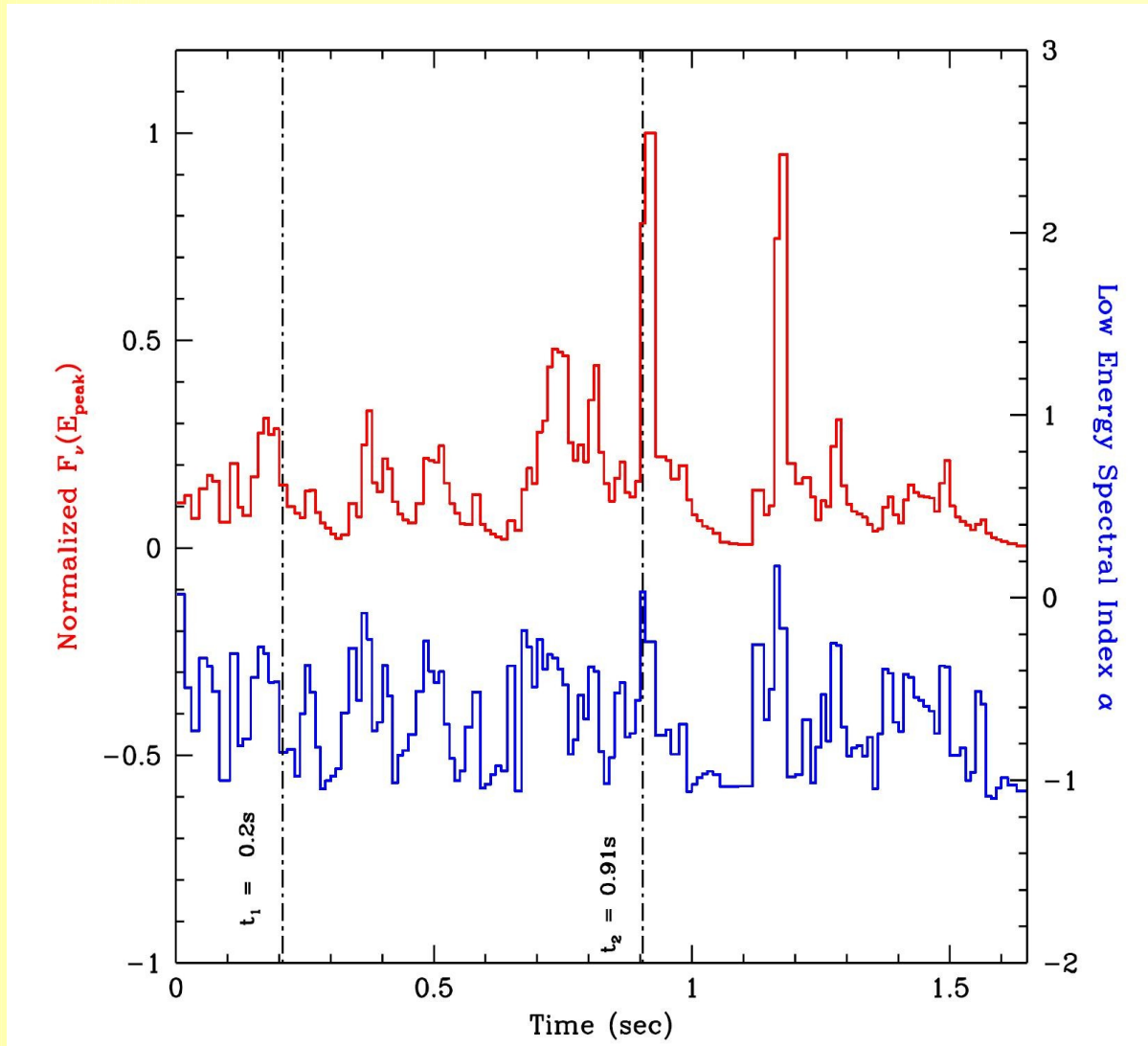
A modell eredményei 1.



- Felső görbe - $F_\nu(E_{peak})$ időfejlődése, alsó görbe - α időfejlődése
- követő viselkedés a korai szakaszban
- jet-tengely és látóvonal szöge szerint három eset (zöld, piros, folytonos): $0, \theta_{jet}/2, \theta_{jet}$
- $t < 0,03s$ és $t > 1000s$: α átlépi a szinkrotron halálvonalat

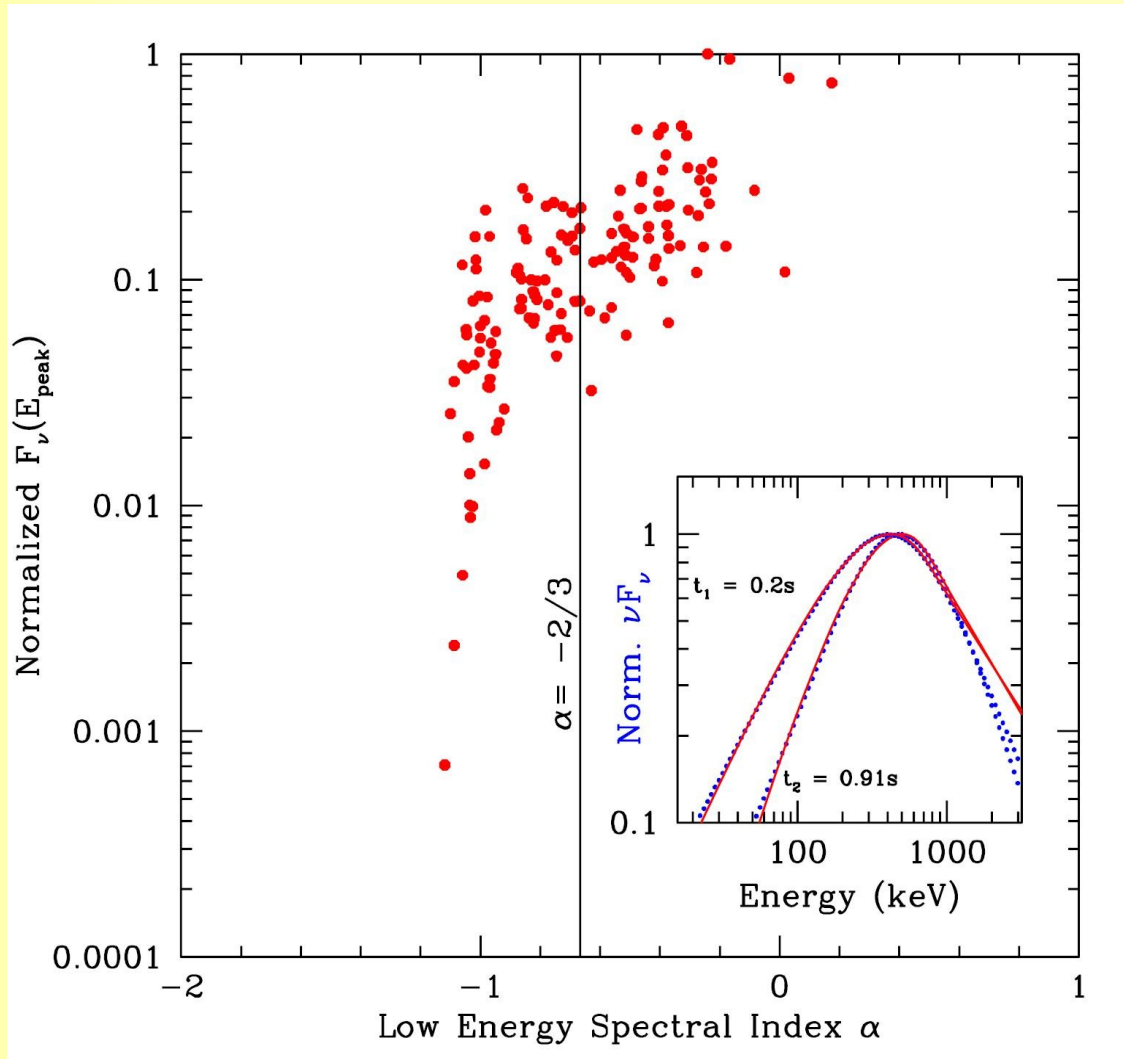
- A két érték közötti kapcsolat
- jobb felső sarokból indul

A modell eredményei 2.



- Szintetikus gamma-kitörés:
 - 100 pulzus összege
 - random pozíciók és amplitúdók
 - ugyanúgy dolgozták föl az adatokat, mint ahogy a BATSE méréseit
- Mutatja a követő viselkedést.

A modell eredményei 3.

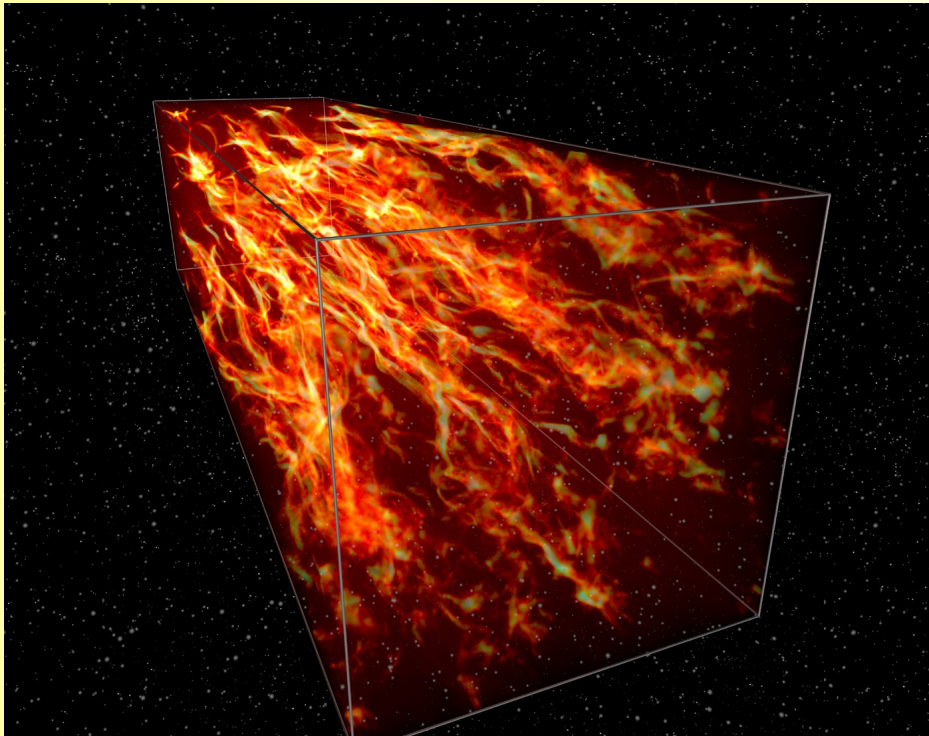


- Hasonlít a mérési adatokhoz:
 - átlépi az $\alpha \leq -2/3$ -ot
 - csoportosulás $\alpha \sim -1$ -nél
- Belső ábra: a spektrum jól illeszthető az alacsony energia-tartományon

Az eredmények jelentősége

- Ez az egyetlen modell eddig, amely ezeket a jelenségeket is kielégítően magyarázza.
- A numerikus szimulációk és a mérési eredmények hasonlósága a modell helyességére utal.
 - Nagyon kevés új elmélet születik mostanában
 - Nincs olyan elmélet, mely minden megfigyelést előre tudna jelezni (nagyon sok adat van)
 - Továbbfejlesztése fontos lenne

A jitter modell korábbi eredményei és tervek a folytatásra

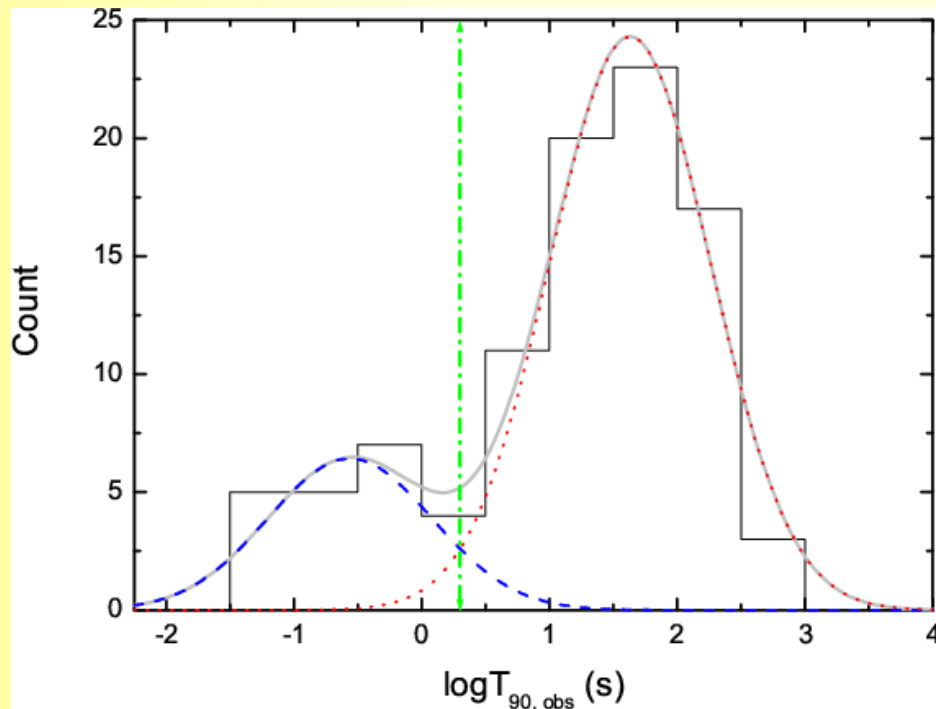


- korábban szimulálták már a jitter modellt [7]
 - ábrák
- az elméletet szeretnék kiterjeszteni más spektrális paraméterek és az utófény magyarázására is
- szupernóvák és a csillagközi anyag viselkedésének leírásakor is hasznos lehet
- előrejelzései:
 - késői időknél α meredekebb lesz
 - késői időknél a polarizáció növekedik

Magyar vonatkozások 1.

- Horváth István (Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem) [4]
- Balázs Lajos (MTA Konkoly Thege Miklós Csillagászati Kutatóintézete)
 - statisztikailag bizonyították, hogy eredendően különbség van a rövid ($<2s$) és hosszú ($>2s$) kitörések között [1]
- Bagoly Zsolt (Eötvös Loránd Tudományegyetem)
 - 2009-es A&A cikkükben: 197 hosszú BATSE kitörés spektrális és időbeli tulajdonságát vizsgálták faktoranalízissel. Eredmény: 5 faktor kielégítően leírja a mintát.[2]
- Mészáros Péter (The Pennsylvania State University)
 - megjósolták az utófény jelenségét az első megfigyelés előtt (BeppoSAX, GRB970228) [3]
- doktorandusz: Veres Péter (ELTE) [6]

Magyar vonatkozások 2. — a gamma-kitörések csoportosítása



- Időtartamuk eloszlása két csúcsú → két csoport
 - hosszú/lágy
 - rövid/kemény
- Ez a két csoport fizikailag is elkülönül
 - $30 M_{\text{NAP}}$ -nél nagyobb csillagok összeroskadása
 - két kompakt objektum összeütközése
- Statisztikailag valószínűsített egy harmadik, közepes hosszúságú csoport létezése is
 - nincs rá fizikai magyarázat még
 - Horváth István munkássága [4]

Felhasznált irodalom

- [1] L. G. Balázs et al. On the difference between the short and long gamma-ray bursts A&A 401, 129-140 (2003)
- [2] Z. Bagoly et al. Factor analysis of the long gamma-ray bursts A&A 493, 51-54 (2009)
- [3] Meszaros, P.; Rees, M. J. Optical and Long-Wavelength Afterglow from Gamma-Ray Bursts Astrophysical Journal v.476, p.232
- [4] I. Horváth A further study of the BATSE Gamma-Ray Burst duration distribution A&A 392, 791-793 (2002)
- [5] Mikhail V. Medvedev. Theory of "Jitter" Radiation from Small-Scale Random Magnetic Fields and Prompt Emission from Gamma-Ray Burst Shocks 2000 ApJ 540 704-714
- [6] Veres Péter. Gammafelvillanások spektrális elemzése (diplomamunka, ELTE, 2006)
- [7] Christian B. Hededal. Gamma-Ray Bursts, Collisionless Shocks and Synthetic Spectra, PhD thesis 2005 Niels Bohr Institute, Copenhagen

Köszönöm a figyelmet!

