

Jiří Štoček; Attila Mészáros  
Tři desetiletí gama záblesků

*Pokroky matematiky, fyziky a astronomie*, Vol. 47 (2002), No. 2, 114--124

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/141121>

## Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 2002

Institute of Mathematics of the Academy of Sciences of the Czech Republic provides access to digitized documents strictly for personal use. Each copy of any part of this document must contain these *Terms of use*.



This paper has been digitized, optimized for electronic delivery and stamped with digital signature within the project *DML-CZ: The Czech Digital Mathematics Library* <http://project.dml.cz>

# Tři desetiletí gama záblesků

*Jiří Štoček a Attila Mészáros, Praha*

Gama záblesky jsou náhlá intenzivní vzplanutí v oboru  $\gamma$  elektromagnetického záření. Během svého krátkého trvání, nejvýše stovek sekund, přezáří všechny ostatní zdroje v oboru  $\gamma$ , včetně Slunce.

Hovoří se i o „zábleskových zdrojích záření gama“. Z anglického *Gamma Ray Bursts* je odvozena zkratka GRB, kterou budeme dále téměř výhradně používat.

První práce o GRB pochází z roku 1973 [17]. Jen do konce roku 1999 bylo o GRB publikováno více než 4000 prací [16], a přesto většina základních otázek zůstává neuzavřených [24].

## 1. Objev GRB

První zmínka na téma GRB pochází z roku 1973, v článku R. W. Klebesadela, I. B. Stronga a R. A. Olsona [17]. Je založena na pozorováních z let 1969–1972 pomocí družic Vela. Ty měly původně vojenský účel, monitorování pokusných atomových výbuchů.

Družice Vela (5A, 5B, 6A, 6B) byly rozmístěny na téměř stejné kruhové dráze s geocentrickým poloměrem  $\sim 1,2 \times 10^5$  km. Každá byla vybavena šesti scintilačními detektory. Rozmístěním detektorů bylo dosaženo přibližně izotropní citlivosti. Jednotlivé detektory byly citlivé v intervalu energií 0,2 až 1,0 MeV v případě družic Vela 5, resp. 0,3 až 1,5 MeV v případě Vela 6. Další detektory, schopné detekovat s vysokou citlivostí vysokoenergetické nabitě částice i neutrony, zajistily odlišení signálů vyvolaných  $\gamma$  fotony, protože v tomto případě nedocházelo ke změnám na pozadí vysokoenergetických částic.

V uvedené periodě bylo s jistotou registrováno 16 gama záblesků s následujícími základními charakteristikami:

- Doba trvání  $T$  těchto jevů se pohybovala od  $T < 1$  s po zhruba  $T = 30$  s.
- Hustota zářivého toku v měřeném energetickém intervalu, integrovaná přes dobu trvání, kolísala od minimálních měřitelných hodnot  $\sim 10^{-5}$  erg cm $^{-2}$  po  $> 2 \times 10^{-4}$  erg cm $^{-2}$ .
- V případech, že byl stejný jev detekován dvěma družicemi, v rámci různých prahů a statistických fluktuací nezávisel integrovaný tok na přijímací družici. Z časového zpoždění a pomocí zákona obrácených čtverců bylo možné stanovit minimální vzdálenost zdroje na řádově milióny km.

---

Mgr. JIŘÍ ŠTOČEK (1977) a doc. RNDr. ATTILA MÉSZÁROS, DrSc. (1951), Astronomický ústav, Matematicko-fyzikální fakulta Univerzity Karlovy, 180 00 Praha 8, V Holešovičkách 2.

Geometrické úvahy vyloučily Slunce jako zdroj. V žádném z 16 případů také nebyla nalezena korelace s nějakým zaznamenaným případem sluneční aktivity. Žádný záblesk se nepodařilo ztotožnit se supernovou pozorovanou v té době. Blíže [17].

Z rychlé časové proměnnosti a kauzality bylo možné soudit, že zdroje GRB jsou objekty nejvýše hvězdných rozměrů. Po dalších zhruba 20 let byl však největším problémem nedostatek spolehlivých observačních údajů. Byly detekovány stovky GRB [24], ale trvaly natolik krátce, že tato skutečnost znemožňovala spolehlivější lokalizaci a další sledování zdrojů.

V polovině 80. let byla zaznamenána podtřída velmi vzácných jevů, které se od většiny typických GRB výrazně odlišovaly. Spektra těchto záblesků měla (na rozdíl od ostatních GRB) tepelný charakter a maxima ležela v měkčí oblasti  $\gamma$ , odpovídající zhruba 30 keV [18]. Dnes SGR (*Soft Gamma Repeaters*) představují populaci objektů v Galaxii a LMC, které náhle emitují měkké  $\gamma$  záření. Nelze ovšem vyloučit, že obě třídy jevů spolu úzce souvisí [5].

## 2. Experiment BATSE

Data z experimentu BATSE (*Burst and Transient Source Experiment*) na palubě CGRO (*Compton Gamma Ray Observatory*) znamenají zásadní zlom v neuspokojivé observační situaci, která do té doby panovala.

### 2.1. CGRO

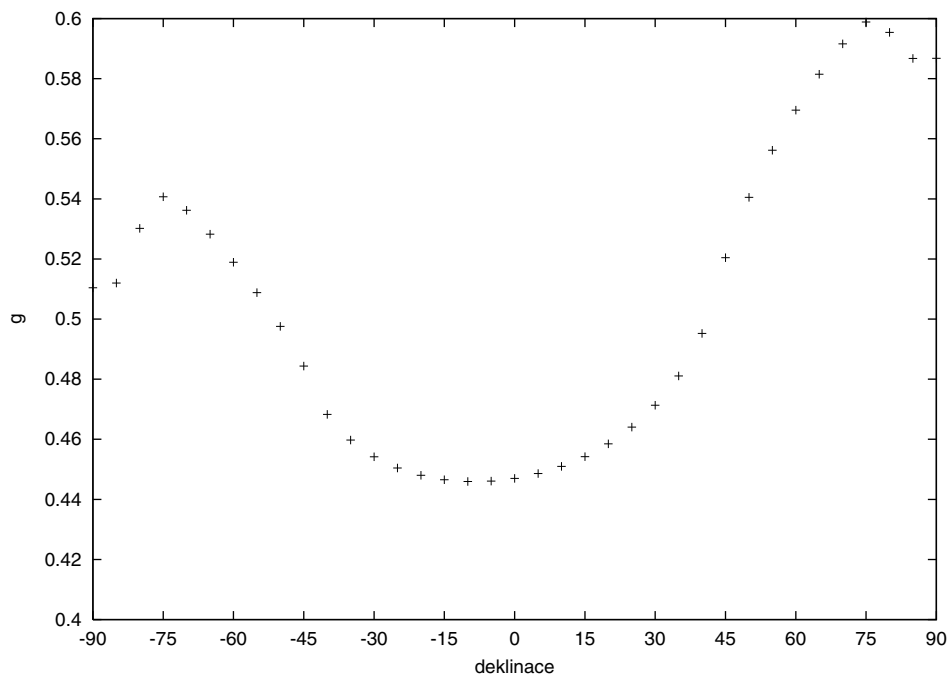
Družice CGRO byla vynesena na oběžnou dráhu 5. 4. 1991 a její činnost byla ukončena 4. 6. 2000. Jako zajímavost je možné uvést, že šlo o nejhmotnější (17 tun) těleso, které kdy bylo vyneseno do kosmického prostoru raketoplánem [22]. CGRO byla umístěna na kruhové dráze s počáteční výškou 450 km a sklonem  $28,5^\circ$ . Mise se skládala ze 4 experimentů:

- BATSE — přehlídka celé oblohy v širokém pásmu energií 20 keV až 2 MeV.
- OSSE (*Oriented Scintillation Spectrometer Experiment*) — detekce v oblasti záření  $\gamma$  o energiích 100 keV až 10 MeV.
- COMPTEL (*The Imaging Compton Telescope*) — detekce v oblasti středních energií (1 MeV až 30 MeV).
- EGRET (*The Energetic Gamma Ray Experiment Telescope*) — detekce v oblasti vysokých energií.

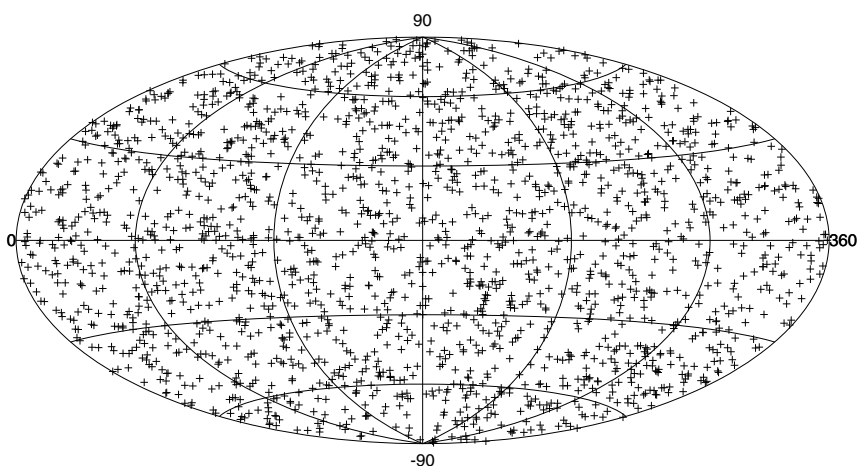
Podrobné shrnutí je možné nalézt v [8]. Hlavním cílem BATSE byl výzkum GRB, ale experiment přinesl i důležitá data např. v oblasti rentgenových pulsarů [28] a také objev TGF (*Terrestrial Gamma Flashes*) — záblesků v  $\gamma$  oboru pocházejících z vysoké atmosféry Země a nejspíš souvisejících s rozsáhlou bouřkovou aktivitou [22].

Experiment BATSE byl realizován osmi stejnými detektory, umístěnými ve vrcholech družice. Detektory obsahovaly scintilační krystaly NaI(Tl) o ploše  $2025 \text{ cm}^2$

a tloušťce 1,27 cm, odstíněné od vysokoenergetických nabitých částic. Výsledné zorné pole by představovalo v ideálním případě  $4\pi$  sr. Stínění Země a vliv částicového pozadí vyjadřuje funkce pokrytí oblohy  $g(\delta)$ , která dlouhodobě závisí jen na deklinaci  $\delta$  a je znázorněna na obrázku 1. Při testech izotropie úhlového rozdělení GRB je nutné tuto funkci pokrytí brát v úvahu.



Obr. 1. Funkce pokrytí z BATSE 4B Catalogu.



Obr. 2. Rozdělení všech GRB z BATSE Current Catalogu na obloze v rovníkových souřadnicích, Aitovovo-Hammerovo zobrazení.

Další podstatné vlastnosti detektorů a celého experimentu jsou:

- Citlivost v intervalu energií 20 keV až 2 MeV; měření v širokých kanálech 25 až 50 keV, 50 až 100 keV, 100 až 300 keV, 300 keV až 2 MeV.
- Chyba měření polohy zdrojů typicky  $\sim 4^\circ$ .
- Z 8021 zaznamenaných událostí je 2704 GRB, tzn. v průměru zhruba 1 GRB za den.
- Vyčítání probíhalo na časových škálách  $\tau = 64$  ms, 256 ms, 1024 ms po dobu 240 s od zaznamenání události dvěma nebo více detektory.
- Pozadí přepočítáno každých  $\sim 17,4$  s, detekce nastávala při překročení hodnoty pozadí o  $5,5\sigma$ .

## 2.2. Veličiny charakterizující GRB v oboru $\gamma$

Kromě souřadnic obsahuje BATSE Current Catalog [22] o detekovaných GRB následující údaje, které slouží jako veličiny charakterizující GRB:

- $P_{64}$ ,  $P_{256}$ ,  $P_{1024}$  — *peak flux*, maximální fotonový tok v intervalu 50 až 300 keV, index se vztahuje k časové škále vyčítání, jednotka  $\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ;
- $F_1$ ,  $F_2$ ,  $F_3$ ,  $F_4$  — *fluence*, veličina charakterizující celkovou přijatou energii pro jednotlivé kanály, jednotka  $\text{erg cm}^{-2}$ ;
- $f$  — práh pro jednotlivé časové škály v jednotkách  $\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ;
- $T_{90}$  — délka časového intervalu potřebná pro integraci 90 %  $F_{\text{TOT}}$  ( $F_{\text{TOT}} = F_1 + F_2 + F_3 + F_4$ ), uvažuje se čas mezi integrací 5 % a 95 %  $F_{\text{TOT}}$ ;
- $T_{50}$  — obdobně pro interval mezi integrací 25 % a 75 %  $F_{\text{TOT}}$ .

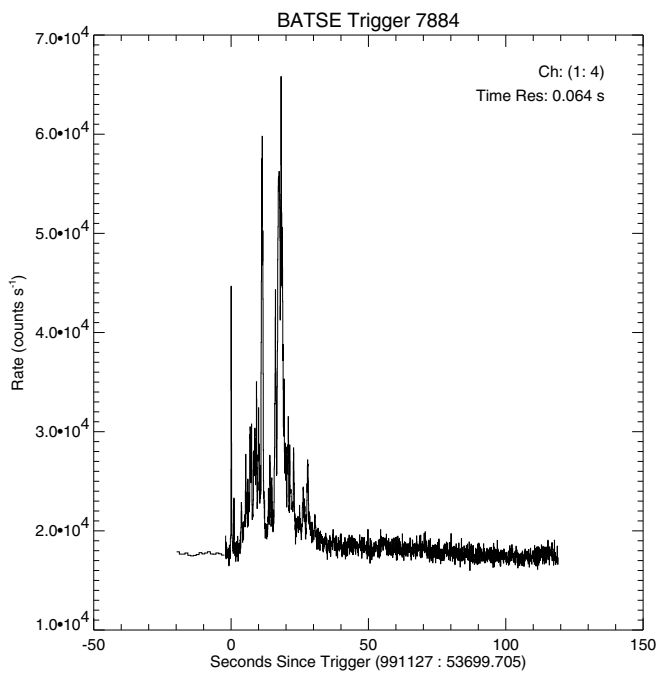
Rozložení energie ve spektru GRB se poměřuje tvrdostí (*hardness*)  $H_{32} = F_3/F_2$  nebo  $H_{321} = F_3/(F_1 + F_2)$ . Katalogové označení GRB je odvozeno z data detekce.

## 2.3. Shrnutí

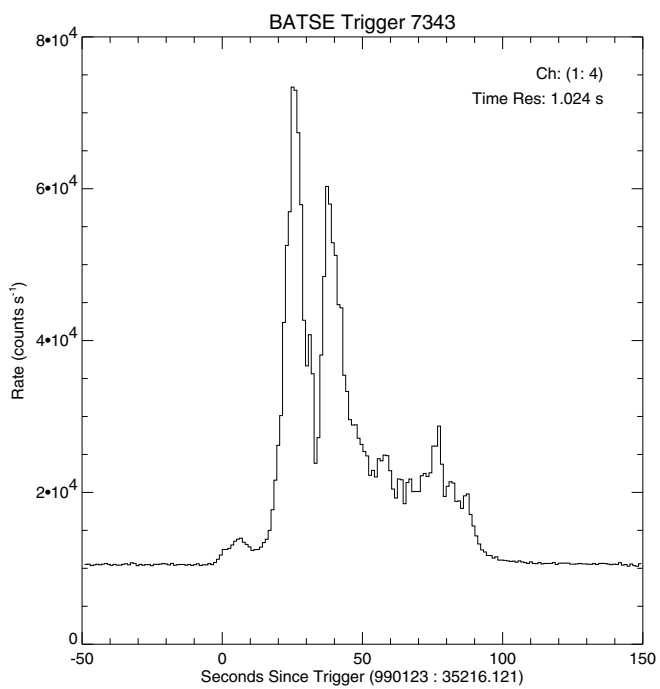
Spektra GRB jsou netermální a závislost počtu fotonů na energii fotonů  $\varepsilon$  má typicky tvar  $N(\varepsilon) \approx \varepsilon^{-\alpha}$ , kde  $\alpha \sim 1$  pro nízké energie a  $\alpha \sim 2$  až 3 pro fotonové energie  $\varepsilon_0 \sim 0,1$  až 1 MeV [24].

GRB, detekované BATSE, vykazují nicméně velkou rozmanitost spektrálních profilů. Příkladem GRB s jednoduchou světelnou křivkou a jasně definovanými emisemi je GRB991127 (obr. 3). Naopak v případě GRB980123 (obr. 4) není taková jasná struktura přítomna. Grafy byly převzaty z [22]. GRB980123 je jedním z GRB, pro něž byl identifikován optický protějšek.

Z tvarů světelných křivek lze usuzovat na geometrii emitujících oblastí [6]. Je velmi nepravděpodobné, že by rozmanité spektrální profily mohl vysvětlit jediný fyzikální model zdrojů GRB.



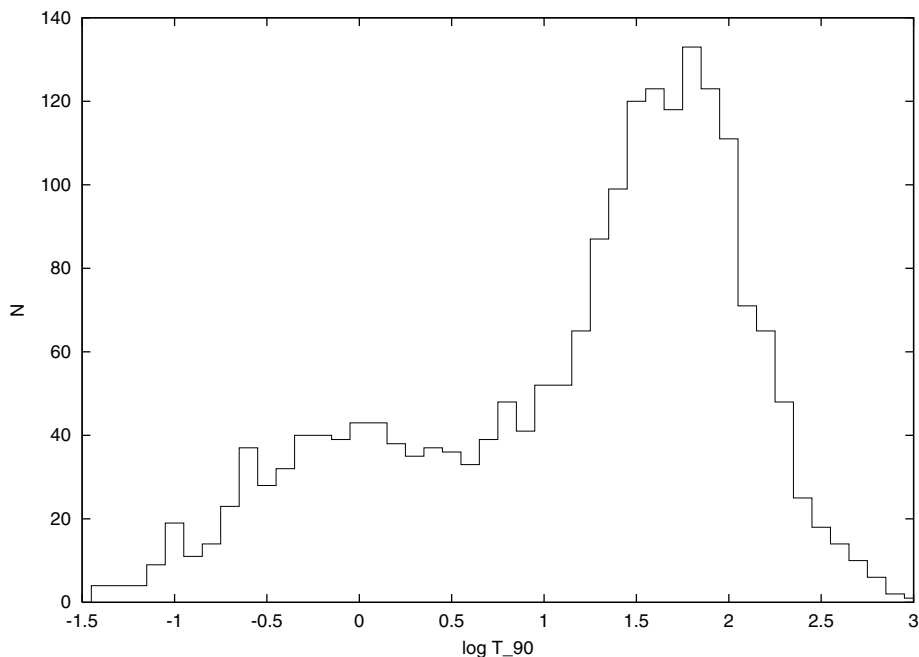
Obr. 3. Světelná křivka GRB991127 ve všech kanálech, převzato z [22].



Obr. 4. Světelná křivka GRB980123 ve všech kanálech, převzato z [22].

### 3. Klasifikace GRB

Již první data z BATSE projevovala zajímavou vlastnost ohledně rozdělení v  $T_{90}$  [18]. GRB se známou dobou trvání se dělily přinejmenším na dvě skupiny, zhruba s  $T_{90} \leq 2\text{ s}$  a s  $T_{90} > 2\text{ s}$ . V rámci těchto dvou skupin je rozdělení GRB v závislosti na  $T_{90}$  zhruba logaritmicko-normální. Lze předpokládat, že obě skupiny GRB mohou odpovídat různým fyzikálním příčinám, protože se systematicky liší i jejich spektrální vlastnosti. Srovnání s údaji z ostatních experimentů do té doby dostupnými vyloučilo, že by mohlo jít o výběrový efekt v datech BATSE [19].



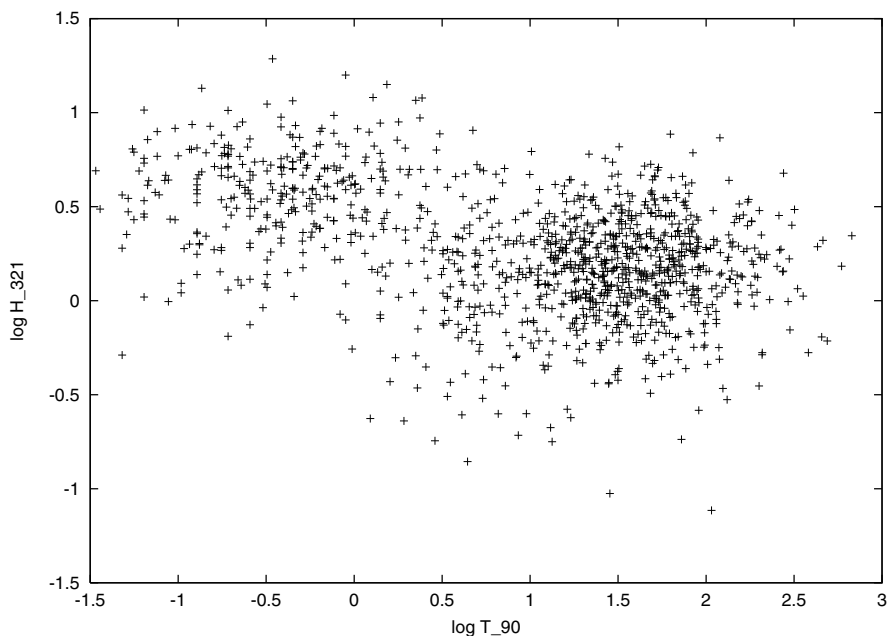
Obr. 5. Rozdělení GRB z BATSE Current Catalogu v  $T_{90}$ .

Podrobnější analýza již s větším objemem pozorovaných dat prokázala, že je-li rozdělení GRB v  $T_{90}$  v jednotlivých podsouborech logaritmicko-normální, může být vyhovující rozdělení na 3 podsoubory (hranice v  $T_{90}$  zhruba 10 s a 2 s) [14], [25], případně lze uvažovat i o čtvrté skupině s  $T_{90}$  pod 0,1 s [3]. Histogram na obrázku 5 byl pořízen pro všechny GRB s údajem o  $T_{90}$  z BATSE Current Catalogu.

TABULKA 1. Vlastnosti tří skupin GRB.

GRB	dlouhé	střední	krátké
<i>Fluence</i>	velký	střední	malý
$H_{321}$	$\sim 2,5$	$\sim 2,2$	$\sim 4,5$

Pro GRB z jednotlivých skupin se vžila pojmenování „dlouhé“, „krátké“, popř. „střední“ a „velmi krátké“ GRB. Tato označení budeme v dalším textu používat. Nejdůležitější charakteristiky skupin ve veličinách  $T_{90}$ ,  $F_{TOT}$  a  $H_{321}$  shrnuje tabulka 1 (podle [14] a [25]). Závislost  $\log T_{90}$  vers.  $\log H_{321}$  pro GRB z BATSE Current Catalogu je vynesena na obr. 6.



Obr. 6. Závislost  $\log T_{90}$  vers.  $\log H_{321}$  pro GRB z BATSE Current Catalogu.

Hypotézu o různé povaze GRB z jednotlivých skupin podporují i testy prostorového rozdělení GRB. Úhlové rozdělení všech GRB nejeví významné odchylky od izotropie, ale jednotlivé skupiny tuto vlastnost mít nemusí ([1], [23] k anizotropii středních GRB).

## 4. Dosvity

### 4.1. Úvod

Většina modelů zdrojů GRB předpokládá, že k uvolnění části energie by mělo docházet i v oblasti delších vlnových délek elektromagnetického záření. Do roku 1997 bylo ale pro nedostatečně přesnou lokalizaci nemožné pozorovatelsky přiřadit takové jevy k GRB.

Změna nastala s vypuštěním družice Beppo-SAX (30. 4. 1996), která pokrývá interval spektra 0,1 až 200 keV a poskytuje chybové oblasti o rozměrech řádově několika úhlových minut [4]. Tato vysoká přesnost umožnila detekci prvního optického protějšku v případě GRB 970228. Protože např. ve viditelném oboru jev trvá podstatně déle, než je pozorovatelný v oboru  $\gamma$ , hovoří se o „dosvitech“ (*afterglows*). Ve viditelném oboru může dosahovat zdánlivá hvězdná velikost první minuty až hodiny hodnoty  $m_v \sim 10$  až 15 mag. Jasnost klesá s časem zhruba jako  $F_\nu(t) \sim t^{-\beta}$ , kde  $\beta$  je kladné číslo. Podle nejvíce přijímaných představ jsou pozorované vlastnosti dosvitů způsobeny interakcí relativisticky se pohybující hmoty vyvržené centrálním tělesem s mezihvězdnou hmo-



tou (nebo s hvězdným větrem hvězdného předchůdce). Uvedená závislost je s teorií v souladu (blíže např. [24]). Typická hodnota konstanty může být  $\beta = 1,2$  [18]. To znamená pokles jasnosti optického protějšku GRB o 3 magnitudy během 10 dní. Je tedy vidět důležitost rychlých sledovacích kampaní. Aktuální informace o pozorování dosvitů v jednotlivých spektrálních oborech poskytuje [12].

Beppo-SAX detekuje zhruba 30 GRB ročně. Citlivost je ale omezena na **dlouhé** GRB [4] (zhruba  $T \geq 6$  s) a všechny závěry o dosvitech se týkají pouze této skupiny GRB. Výsledky z Beppo-SAX ukázaly, že podíl zářivých toků v oborech X a  $\gamma$  je vyšší než podle původních předpokladů. Tato skutečnost byla vzata v úvahu při přípravě mise HETE-2 (v činnosti od 9. 10. 2000).

#### 4.2. Mateřské galaxie a rudé posuvy

Otázka, jaká je alespoň řádová vzdálenost GRB, se zdá být pro skupinu dlouhých GRB definitivně vyřešena. Z pozorování dosvitů se mnohdy daří identifikovat mateřskou galaxii a stanovit její rudý posuv. Tak bylo poprvé možno přímo určit vzdálenost GRB. GRB se stanovenými rudými posuvy do 1. 11. 2001 uvádí tabulka 2 na základě údajů [24], [18] a [12]. V prvním sloupci jsou uvedena katalogová označení GRB, ve druhém spektroskopické rudé posuvy. Třetí sloupec zaznamenává energii uvolněnou v oboru  $\gamma$ , pokud je vyzářování sféricky symetrické (blíže viz následující odstavec).

TABULKA 2. GRB se stanovenými rudými posuvy do 1. 11. 2001.

GRB	$z$	$E_\gamma$ [ $10^{51}$ erg]	obor
970228	0,695	2,4	X
970508	0,835	5,3	XOR
970828	0,957 ?	154,2	XR
971214	3,418	347,6	XO
980425	0,0085	0,00074	XOR
980613	1,096	6,1	XO
980703	0,966	106,2	XOR
990123	1,6	3383,8	XOR
990712	0,430	15,7	O
991208	0,706	113,3	OR
991216	1,020	666,1	XOR
000131	4,5	1276,1	O
000131C	2,03	?	OR
000418	1,118	215,4	OR
000926	2,66	2444,8	XOR
001109	0,3		XR
010222	1,477		XOR
010921	0,45		O
011121	0,36		O

Zde se předpokládá hodnota Hubbleovy konstanty  $H_0 = 65 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$  a hodnota  $\Omega_0 = 0,23$ . Poslední sloupec uvádí spektrální obory, v nichž byl dosvit pozorován, přičemž O označuje viditelnou i infračervenou oblast, X rentgenovou a R rádiovou. Značný rozptyl energií zřejmě vylučuje možnost, že by tato skupina GRB mohla představovat standardní svíčky.

Pokud nebyl dosvit pozorován v rádiové oblasti, je tomu tak vesměs pro nižší citlivost měření v tomto oboru. Neúspěch detekce v optické oblasti však (kromě špatných pozorovacích podmínek) může být důsledkem vysoké extinkce, způsobené prachem v mateřské galaxii. Příčiny neúspěšné detekce v oboru X nejsou zatím spolehlivě objasněny [20].

Dobrá koincidence GRB s mateřskými galaxiemi ukazuje, že pravděpodobně nepatří do některé z populací galaktického hala. Zároveň lze také vesměs vyloučit souvislost s galaktickými jádry.

V rámci dosavadních nečetných údajů mají mateřské galaxie luminozity typické pro galaxie s podobným rudým posuvem. Spektroskopicky odvozené hodnoty rychlosti hvězdné tvorby se pohybují v rozmezí  $\sim 1 M_\odot \text{ yr}^{-1}$  až několik desítek  $M_\odot \text{ yr}^{-1}$ , což je opět typické pro normální galaxie na podobném  $z$ . Dosvity se nepozorují v eliptických galaxiích. Z dosavadních identifikací se zdá, že GRB se vyskytují v oblastech galaxií s prachovou složkou [20].

### 4.3. Energie uvolněná při GRB

Energie izotropického záření  $E_\gamma$  pro GRB v tabulce 2 dosahuje řádu až  $10^{54}$  erg, pokud ji určíme ze vztahu

$$E_\gamma = 4\pi D_P^2 F_{\text{TOT}}(1+z) = 4\pi D_L^2 F_{\text{TOT}}/(1+z), \quad (1)$$

kde  $D_P$  představuje vlastní vzdálenost a  $D_L$  luminozitní vzdálenost.

Pro srovnání klidová energie Slunce  $M_\odot c^2 = 1,8 \times 10^{54}$  erg. GRB by tak byly zdaleka nejenergetičtějšími událostmi ve Vesmíru [24]. K redukci potřebné energie pravděpodobně přispívá geometrie emise. Děje-li se nikoliv sféricky symetricky, ale prostřednictvím výtrysků a výtok ze zdroje je obsažen v prostorovém úhlu  $\Omega = 4\pi f_\gamma$ , bude skutečná energie, uvolněná v oboru  $\gamma$ ,  $E = f_\gamma E_\gamma$ . Koeficient  $f_\gamma$  by mohl být řádu až  $10^{-6}$  [27]. O stejný faktor, o jaký se snižují energetické požadavky, narůstá požadavek na četnost GRB, aby bylo dosaženo shody s pozorováním.

## 5. Původ GRB

### 5.1. Souvislost GRB se supernovami

Možná souvislost GRB se supernovami byla diskutována již v době objevu GRB [17]. Také některé současné scénáře GRB (viz dále) předpokládají, že by jev GRB mohl být supernovou doprovázen.

Statistické porovnání obou jevů však zatím chybí. Jediným dosud přímo pozorovaným případem je GRB980425 ztotožněný se supernovou SN1998bw, které však není zcela nesporné [10]. Tato supernova byla klasifikována jako typ Ic a sama o sobě má velmi neobvyklé vlastnosti [30]. Rudý posuv její mateřské galaxie odpovídá vzdálenosti 38 Mpc (za stejných předpokladů jako v předchozí sekci). Světelná křivka záblesku neodporuje standardnímu modelu dosvitu [18]. GRB980425 má měkké spektrum a velmi málo emise připadá do oblasti  $> 300$  keV. Podobný typ spektra má zhruba 20 % GRB.  $T_{90} = 23$  s,  $P_{64}$  je přibližně třicetkrát nižší než u nejjasnějších GRB. Možným důvodem může být nevhodné uspořádání pozorovatel–zdroj [9].

Nebyla nalezena korelace mezi supernovami typu IIa a GRB [29], ani mezi supernovami typů Ib/Ic a GRB [11]. Tyto analýzy braly v úvahu supernovy s dobře definovanými parametry. V případě slabších supernov několik možných korelací existuje, vesměs jde o málo prozkoumané případy se špatně známými parametry [15].

Tyto výsledky mohou mít následující příčiny:

- 1) Časová odlehlost obou jevů může být řádově až měsíc.
- 2) Nepřesnost určení souřadnic BATSE je značná.
- 3) V případě typické vzdálenosti GRB, detekovaných Beppo-SAX, tj.  $z = 1$ , může být asociovaná supernova často příliš slabá [15], [29].
- 4) Jen zhruba  $10^{-3}$  supernov je detekováno.

## 5.2. Scénáře GRB

Nejčastěji uvažovaným zdrojem energie GRB, přinejmenším pro většinu GRB, je akrece hmoty na černou díru hvězdné hmotnosti [26]. Procesy, jimiž dochází ke vzniku takové konfigurace, se mohou pro jednotlivé typy GRB lišit. Dlouhé GRB pravděpodobně souvisí se zánikem velmi hmotných ( $M \geq 30M_{\odot}$ ) hvězd s dostatečně velkým momentem hybnosti, při kterém se jádro hvězdy o hmotnosti  $M \geq 2M_{\odot}$  zhroutí na černou díru. Hovoří se o „kolapsarech typu 1“. Rychlost akrece hmoty na černou díru je v těchto modelech 0,01 až  $0,1 M_{\odot} s^{-1}$ . Jako „kolapsar typu 2“ je označována událost, kdy při explozi supernovy nedojde k odmrštění celé obálky a během několika minut až hodin část vnějších vrstev ( $M \sim 0,1$  až  $5 M_{\odot}$ ) dopadne zpět na vzniklou neutronovou hvězdu, což může být provázeno vznikem černé díry. Rychlost akrece lze v takovém případě ocenit na  $0,001$  až  $0,01 M_{\odot} s^{-1}$  a z hlediska vzdáleného pozorovatele se tento případ bude lišit od předchozího především časovou škálou [31].

Ne všechny „kolapsary“ mohou být zdroji GRB. Jednou z podstatných podmínek je  $t_e > t_b$ , kde  $t_e$  představuje dobu činnosti centrálního zdroje a  $t_b$  dobu, kterou exploze potřebuje k proniknutí na povrch hvězdy. Poloměr hvězdného předchůdce musí být dostatečně malý, a proto by např. zdroj GRB neměl být hvězdný předchůdce ve stadiu červeného veleobra [21].

Dosavadní lokalizace GRB v rámci mateřských galaxií neodporuje hypotéze, že zdroji dlouhých GRB jsou velmi hmotné hvězdy na konci svého vývoje. Kolapsarový model však nedokáže dobře vysvětlit pozorované vlastnosti krátkých GRB [31]. Tyto

jevy se obvykle vysvětlují splynutím kompaktních (neutronová hvězda + neutronová hvězda, neutronová hvězda + černá díra) složek dvojhvězd, ztrácejících postupně energii gravitačním vyzařováním. Takové soustavy v závislosti na počátečních podmínkách (rozdělení počátečních impulsů je ale nejisté) cestují napříč mateřskou galaxií a před splynutím jich může až 50 % z galaxie uniknout. To snižuje pravděpodobnost detekce dosvitů a přiřazení GRB k mateřské galaxii [2]. Prověření těchto úvah však v případě krátkých GRB napomohou teprve data z experimentů HETE-2 a Swift (začátek mise je plánován na rok 2003), jejichž cílem je zejména výzkum GRB [24].

## L i t e r a t u r a

- [1] BALÁZS, L. G., MÉSZÁROS, A., HORVÁTH, I.: 1998, A&A 339, 1.
- [2] BULIK, T., BELCZYŃSKI, K., ZBYJEWSKI, W.: 1999, A&A Suppl. Ser. 138, 483.
- [3] CLINE, D. B., MATTHEY, C., OTWINOWSKI, S.: 1999, ApJ 527, 827.
- [4] COSTA, E.: 1999, A&A Suppl. Ser. 138, 425.
- [5] FARGION, D.: 1999, A&A Suppl. Ser. 138, 507.
- [6] FENIMORE, E. E., RAMIREZ-LUIZ, E., WU BOBING: 1999, ApJ 518, L73.
- [7] FISHMAN, G. J. et al.: 1994, ApJS 92, 229.
- [8] FISHMAN, G. J., MEEGAN, C.: 1995, Ann. Rev. Astr. Ap. 33, 415.
- [9] FISHMAN, G. J.: 1999, A&A Suppl. Ser. 138, 395.
- [10] GALAMA, T. J. et al.: 1999, A&A Suppl. Ser. 138, 465.
- [11] GRAZIANI, C., LAMB, D. Q., MARION, G. H.: 1999, A&A Suppl. Ser. 138, 469.
- [12] GREINER, J.: 2001, <http://www.aip.de:8080/jcg/grben.html>
- [13] HAKKILA, J. et al.: In: KIPPEN, R. M., MALOZZI, R. S., FISHMAN, G. J.: AIP Conference Proceedings 256 (2000), Melville, New York, 33.
- [14] HORVÁTH, I.: 1999, ApJ 508, 757.
- [15] HUDEC, R. et al.: In: KIPPEN, R. M., MALOZZI, R. S., FISHMAN, G. J.: AIP Conference Proceedings 256 (2000), Melville, New York, 424.
- [16] HURLEY, K.: In: KIPPEN, R. M., MALOZZI, R. S., FISHMAN, G. J.: AIP Conference Proceedings 256 (2000), Melville, New York, 3.
- [17] KLEBESADEL, R. W., STRONG, I. B., OLSON, R. A.: 1973, ApJ 182, L85.
- [18] KLOSE, S.: 2000, Reviews in Modern Astronomy 129–150, Astronomische Gesellschaft, Hamburg.
- [19] KOUVELIOTOU, C. et al.: 1993, ApJ 413, L101.
- [20] KULKARNI, S. R. et al.: In: KIPPEN, R. M., MALOZZI, R. S., FISHMAN, G. J.: AIP Conference Proceedings 256 (2000), Melville, New York, 277.
- [21] MAC FAYDEN, A.: In: KIPPEN, R. M., MALOZZI, R. S., FISHMAN, G. J.: AIP Conference Proceedings 256 (2000), Melville, New York, 633.
- [22] MALOZZI, R. S.: 2001, <http://www.batse.msfc.nasa.gov/batse>
- [23] MÉSZÁROS, A., BAGOLY, Z., VAVREK, R.: 2000, A&A 354, 1.
- [24] MÉSZÁROS, P.: 2001, Science 291, 79.
- [25] MUKHERJEE, S. et al.: 1998, ApJ 508, 314.
- [26] REES, M. J.: 1999, A&A Suppl. Ser. 138, 491.
- [27] SARI, R.: In: KIPPEN, R. M., MALOZZI, R. S., FISHMAN, G. J.: AIP Conference Proceedings 256 (2000), Melville, New York, 504.
- [28] SCOTT, M.: <http://www.batse.msfc.nasa.gov/batse> (1999).
- [29] SCHAEFER, B. E., DENG, M.: In: KIPPEN, R. M., MALOZZI, R. S., FISHMAN, G. J.: AIP Conference Proceedings 256 (2000), Melville, New York, 419.
- [30] WIERINGA, M. H., KULKARNI, S. R., FRAIL, D. A.: A&A Suppl. (1999), Ser. 138, 467.
- [31] WOOSLEY, S. E.: In: KIPPEN, R. M., MALOZZI, R. S., FISHMAN, G. J.: AIP Conference Proceedings 256 (2000), Melville, New York, 555.