

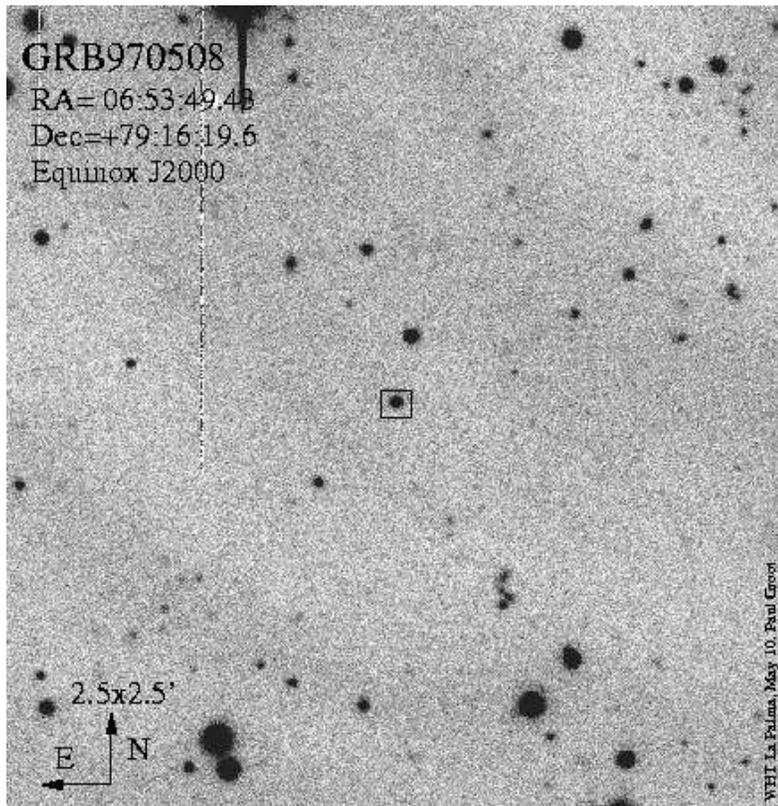
Světelné křivky dosvitů

•

Filip Hroch

Charakteristiky dosvitů

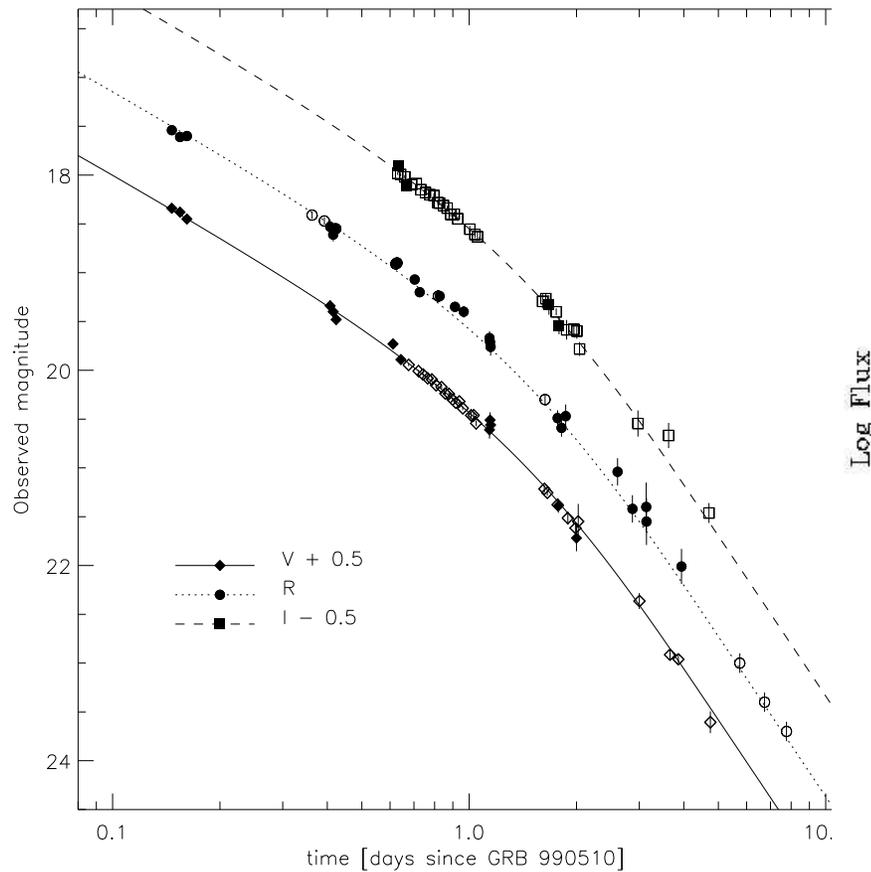
Dosvit (Optical Afterglow) je objekt pozorovaný po gama záblesku na větších vlnových délkách.



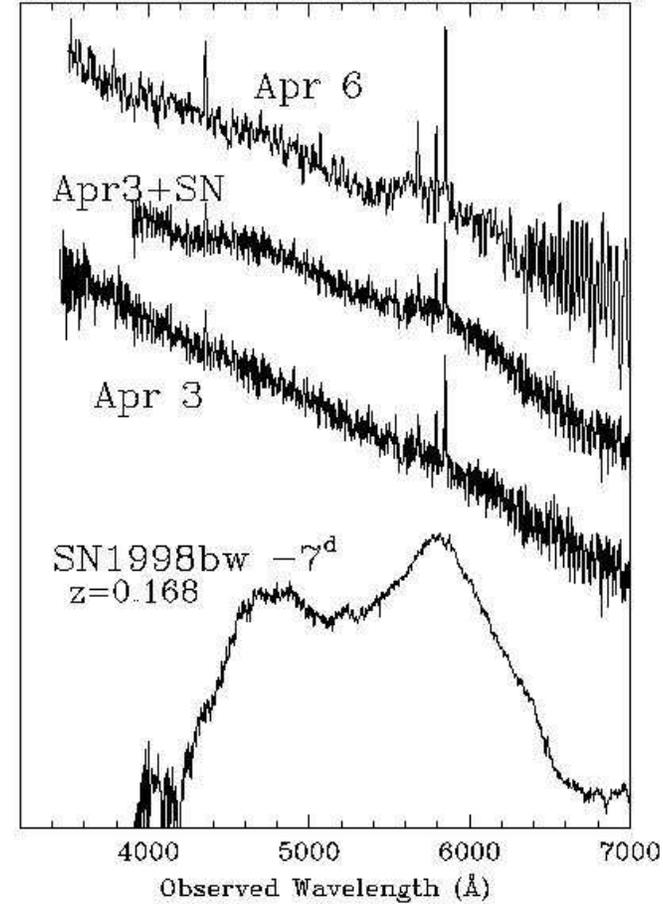
- Dosvit je bodový objekt bez pozorovatelné struktury.
- Spektrum dosvitu je v optickém oboru ploché.
- Světelná křivka dosvitu vykazuje prudký a obyčejně mocninný pokles.

Vlastnosti dosvitů

Spektrum je ploché a v důsledku toho jsou světelné křivky v různých filtrech velmi podobné.



GRB 030329 Matheson et al.



Model dosvitu

Model světelné křivky dosvitu odpovídá na otázku:

Jak bude svítit relativisticky expandující žhavá koule?

Přitom předpokládáme:

- expanze je sféricky symetrická
- materiál dosvitu je velmi řídký ideální plyn
- pracujeme v plochém prostoročase
- neznáme původce ani důvody expanze

Základní vlastnosti mého modelu

- Jde o rovnoměrně se rozpínající kouli bez zdrojů energie.
 - zářivost je úměrná povrchové teplotě a poloměru
 - hustota energie v jednotkovém objemu se zmenšuje
 - část energie je ztracena ve formě pozorovatelného záření.
- Relativistická expanze deformuje tvar křivky
 - mění časové měřítko
 - zesiluje světelný tok
 - různé části povrchu jsou různě vyvinuté

Světelná křivka

Světelná křivka je závislost zářivého výkonu $L(t)$ na čase vyjádřená v magnitudovém měřítku $m(t)$ (m_0 a L_0 jsou libovolné konstanty):

$$m(t) - m_0 \equiv -2.5 \log_{10} \frac{L(t)}{L_0}$$

Zářivý výkon je dán celkovým tokem energie F z přivrácené strany povrchu objektu ($A/2$) ve směru k pozorovateli \mathbf{n}_{obs} :

$$L = \int_{A/2} \mathbf{F} \cdot \mathbf{n}_{obs} dA$$

Difuze záření v obálce

Ve velmi řídkém a zahřátém plynu je přenos záření uskutečňován difuzí záření

$$\mathbf{F} = -\frac{4ac}{3\rho\kappa}\nabla T^4$$

(kde a, c jsou konstanty, ρ je hustota a κ opacita).

Problém hledání časové závislosti zářivého výkonu se tak redukuje na hledání časové a prostorové závislosti hustoty a teploty v obálce (opacitu považujeme za konstantní).

Teplota

Zákon zachování energie vyjadřuje rovnováhu ustavenou úbytkem energie z obálky $T\dot{s} = de/dt$ danou rozpínáním $T\mathbf{v}\nabla s = p\dot{v}$ a vyzařováním $\nabla\mathbf{F}$ s případným dodatečným zdrojem energie ε :

$$\rho T \left\{ \frac{\partial s}{\partial t} + \mathbf{v}\nabla s \right\} = \nabla\mathbf{F} + \varepsilon$$

Speciální případy řešení:

- pravá strana nulová v případě rozpínání bez vyzařování
- ε je energie uvolněná při radioaktivním rozpadu v obálkách supernov
- ε je nula v případě dosvitů

Řešení průběhu teploty

Obecné řešení průběhu teploty má tvar:

$$T^4(\tau) = T_0^4 \frac{R_0^4}{\mathcal{R}^4(\tau)} \Psi(x) \Phi(\tau)$$

Substituce:

$$x \equiv \frac{r}{R}$$

Okrajové a počáteční podmínky:

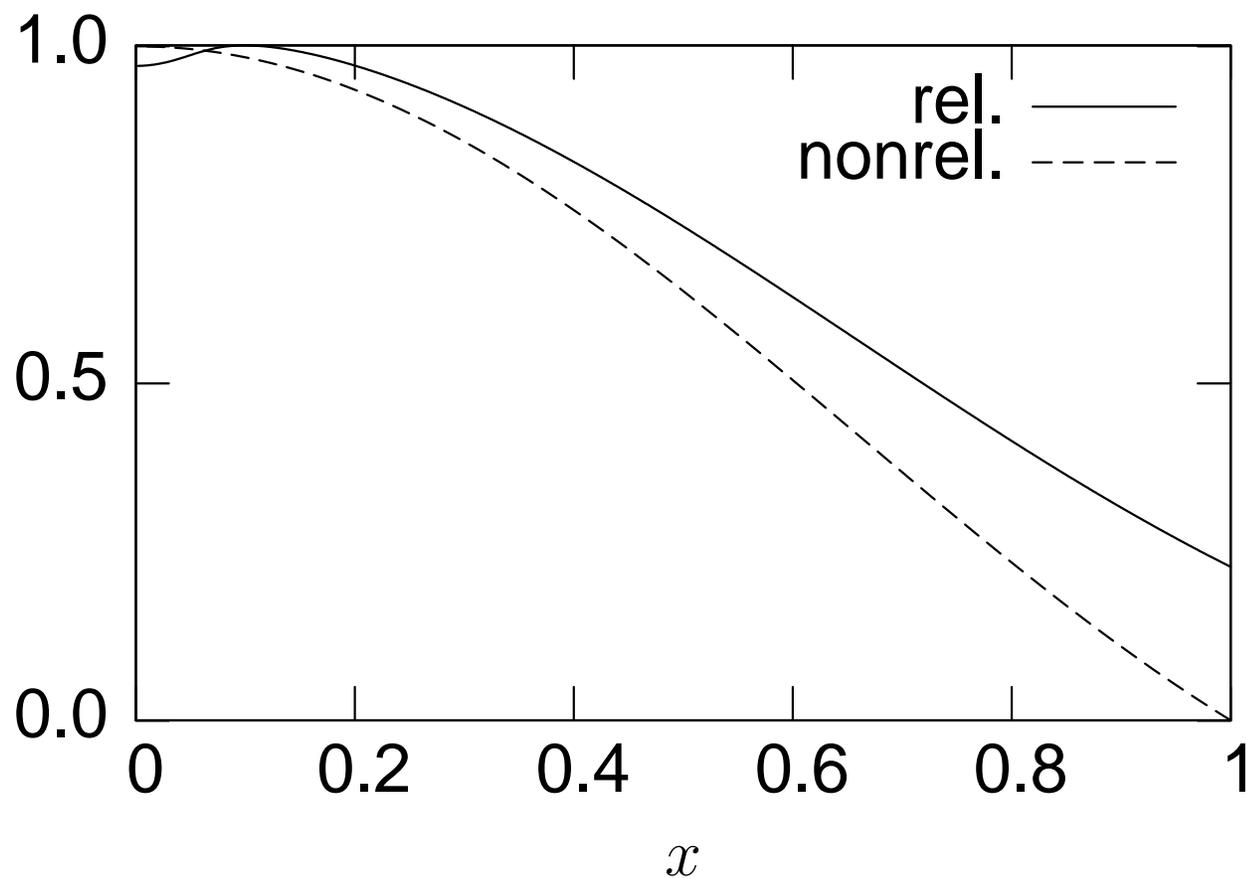
$$T_0 \sim 10^6 \text{K}, 0 < \alpha < \pi (\alpha \sim \pi)$$

Časová část:

$$\Phi(\tau) = e^{-\alpha^2(\tau/\tau_0 + \tau^2/2\tau_0\tau_h)}$$

Prostorová část

$$\Psi(x) = \frac{\sin \alpha x}{\alpha x}$$

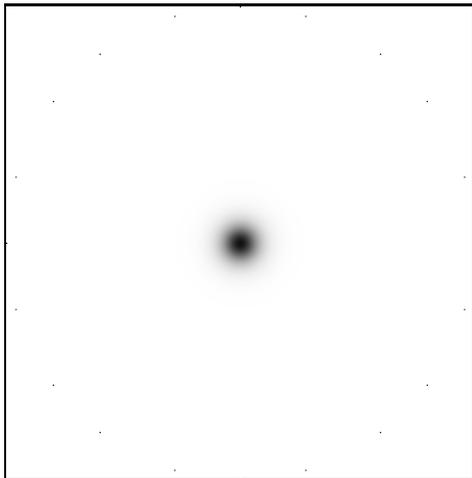
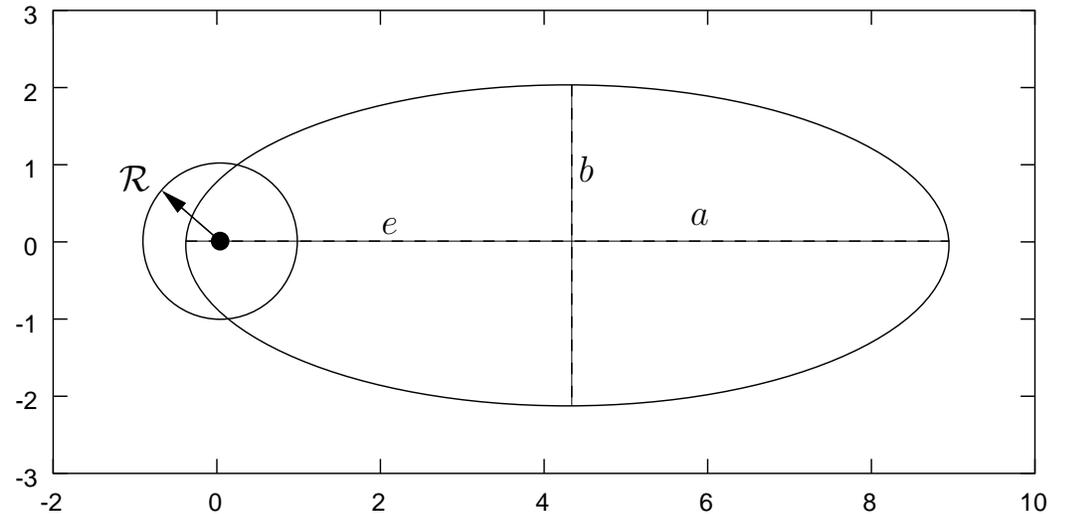


Záření povrchu dosvitu

$$t = \frac{\tau(1 - (v_0/c) \cos \theta)}{\sqrt{1 - v_0^2/c^2}}$$

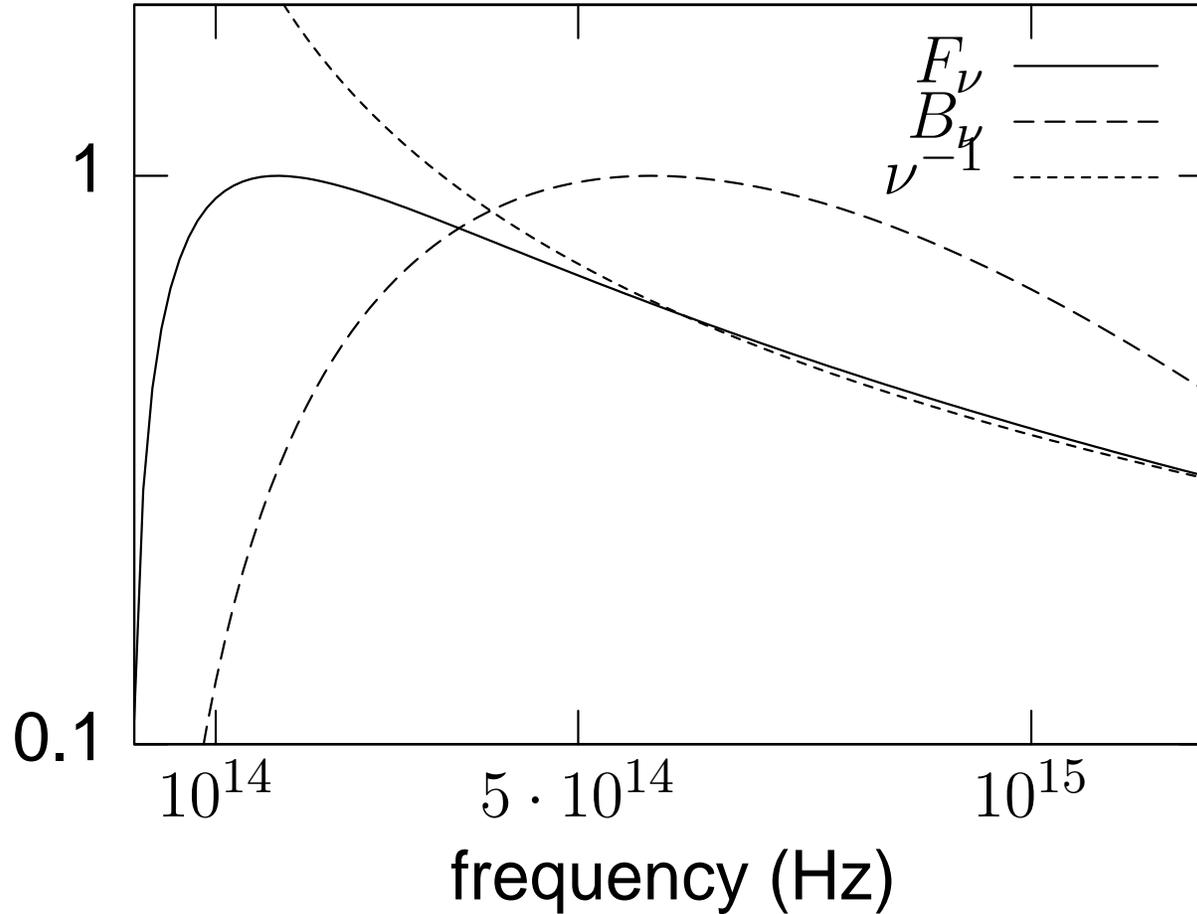
$$x = \frac{\tau(v_0 - c \cos \theta)}{\sqrt{1 - v_0^2/c^2}}$$

$$y = v_0 \tau \sin \theta$$



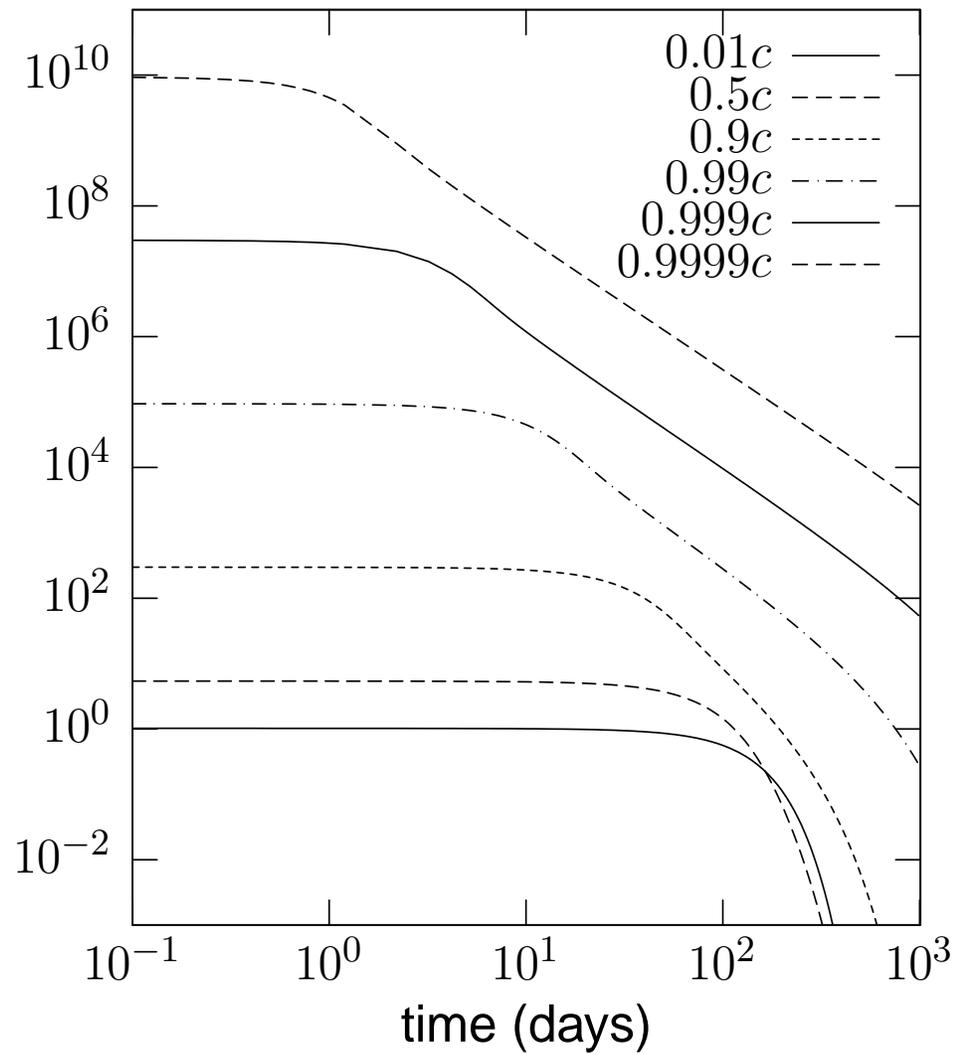
$$\frac{\mathcal{I}_\nu}{\nu^3} = \text{const.}$$

Spektrum dosvitu

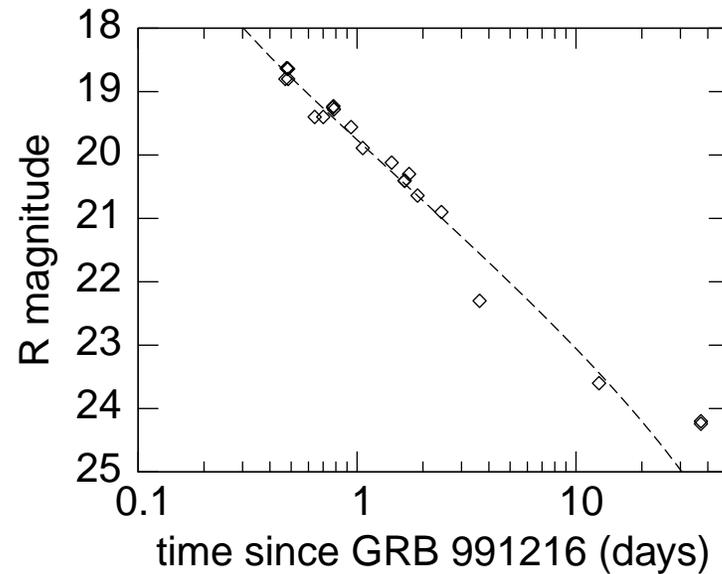
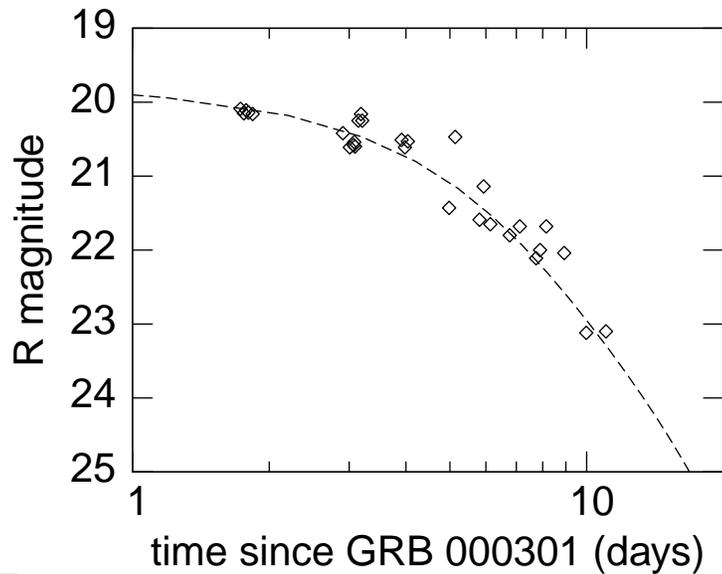
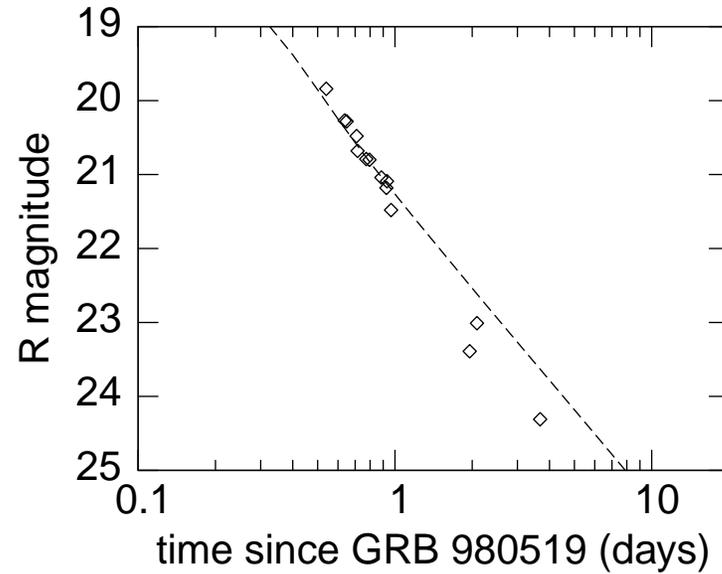
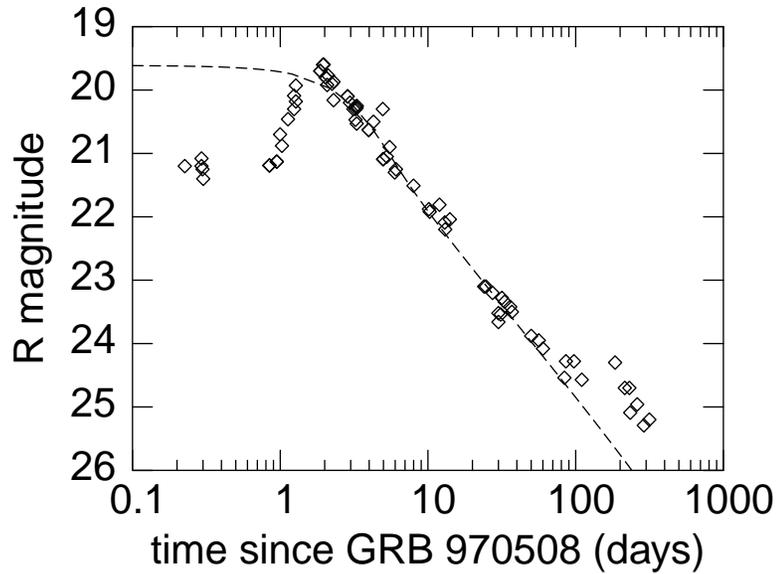


$$\mathcal{F}_\nu \propto \nu^{-\kappa}, \kappa \sim 1$$

Světelné křivky dosvitu



Pozorované světelné křivky

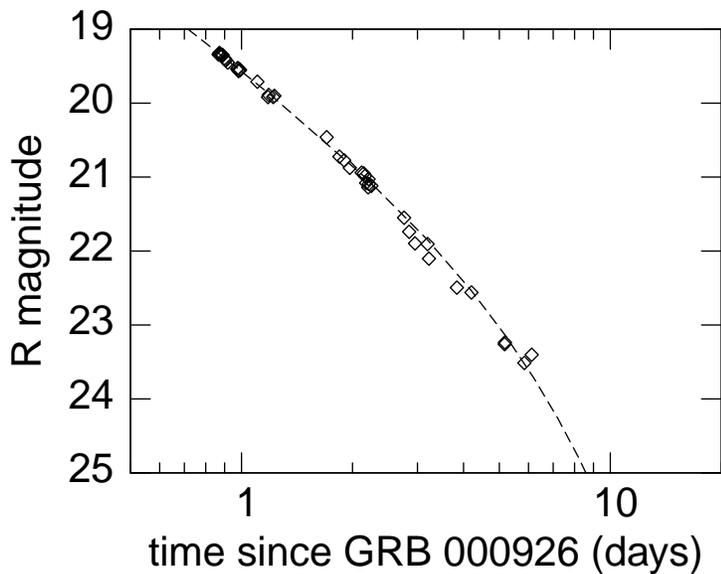


Parametry světelných křivek

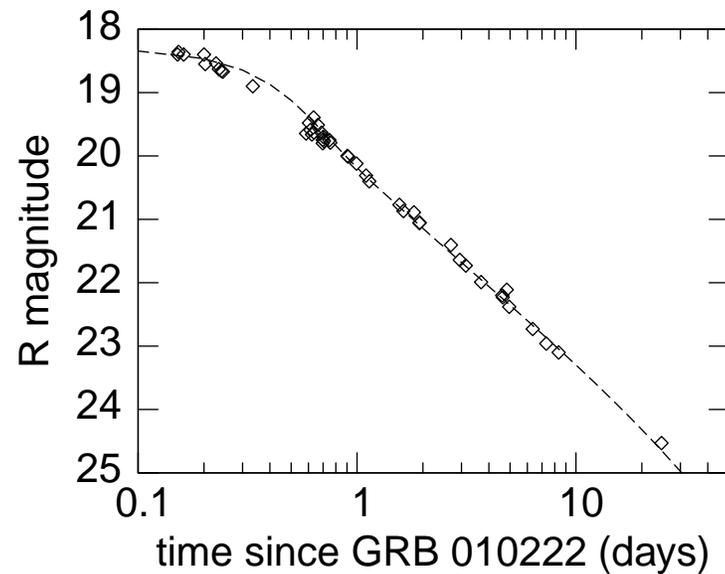
dosvit	v_0/c	τ_0 (dny)	τ_h (dny)	m_0	κ
970508	0.9995 ± 0.0002	$(1.1 \pm 0.3) \cdot 10^4$	10 ± 2	-11.5 ± 0.1	0.9^*
990510	0.97 ± 0.02	$(3.0 \pm 0.4) \cdot 10^4$	20 ± 1	23.0 ± 0.1	1.1^*
030329	0.96 ± 0.02	$(2.0 \pm 0.1) \cdot 10^2$	$(2 \pm 1) \cdot 10^3$	5.7 ± 0.5	1.1^*
000301C	0.78 ± 0.01	$(1.8 \pm 0.4) \cdot 10^2$	5 ± 1	2.1 ± 0.2	1.00 ± 0.05
000926	0.98 ± 0.01	$(2.0 \pm 0.4) \cdot 10^2$	0.1 ± 0.02	0.1 ± 0.1	0.8 ± 0.03
010222	0.998 ± 0.001	$(2.0 \pm 0.5) \cdot 10^3$	0.4 ± 0.02	7.1 ± 0.2	0.9 ± 0.05
980519	0.9995 ± 0.0001	$(1.8 \pm 0.2) \cdot 10^2$	10 ± 3	11.4 ± 0.5	0.4 ± 0.1
980703	0.999 ± 0.001	$(1.8 \pm 0.2) \cdot 10^3$	0.1 ± 0.03	7.7 ± 0.5	1.2 ± 0.05
990123	0.999 ± 0.003	$(2.8 \pm 0.5) \cdot 10^3$	1.0 ± 0.5	7.6 ± 0.3	1.0 ± 0.1
990712	0.999 ± 0.002	$(1.8 \pm 0.4) \cdot 10^3$	0.1 ± 0.05	7.4 ± 0.4	1.3 ± 0.2
991216	0.999 ± 0.001	$(1.8 \pm 0.3) \cdot 10^3$	0.1 ± 0.1	6.9 ± 0.5	0.8 ± 0.1

Obecné vlastnosti křivek

- expanzní rychlost prodlužuje lineární část křivky
- sklon křivky je dán spektrálním indexem a expanzní rychlostí



$$v_0 \sim 0.98c, \kappa \sim 0.8$$



$$v_0 \sim 0.998c, \kappa \sim 0.9$$

Parametry dosvitů

OA 970508

Z křivky:

$$v_0 = 0.9995c$$

$$\tau_0 = 1100 \text{ dnů}$$

$$\tau_h = 10 \text{ dnů}$$

$$\kappa = 0.9$$

Vypočteno:

$$\mathcal{R}_0 = 10^{11} \text{ cm} \sim R_\odot$$

$$\varrho_0 = 10^{-8} \text{ g/cm}^3$$

$$E_0 = 10^{47} \text{ erg} (\mathcal{D}^3 \sim 10^4)$$

OA 030329

Z křivky:

$$v_0 = 0.96c$$

$$\tau_0 = 200 \text{ dnů}$$

$$\tau_h = 2000 \text{ dnů}$$

$$\kappa = 1.1$$

Vypočteno:

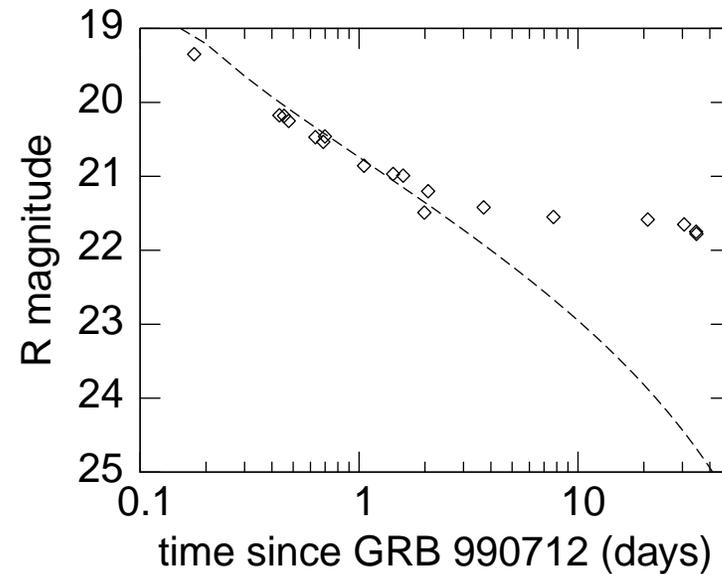
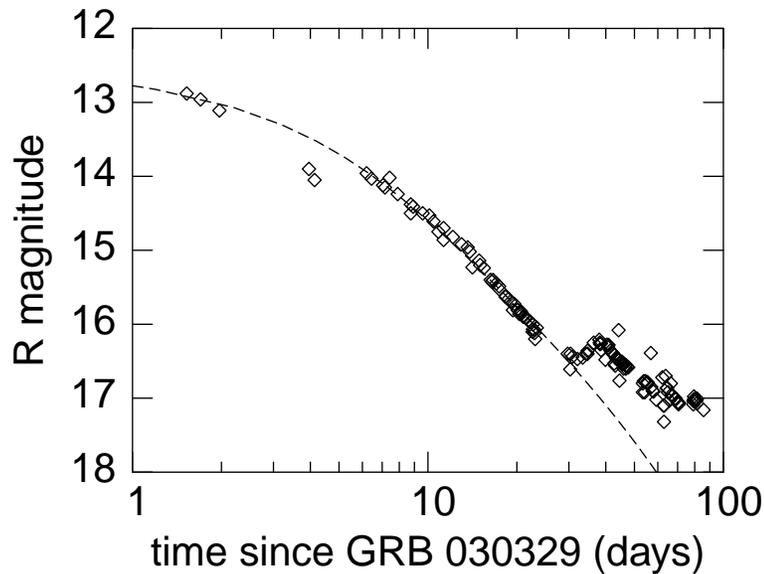
$$\mathcal{R}_0 = 10^{13} \text{ cm} \sim 10^3 R_\odot$$

$$\varrho_0 = 10^{-14} \text{ g/cm}^3$$

$$E_0 = 10^{51} \text{ erg} (\mathcal{D}^3 \sim 10^2)$$

Nedostatky mého modelu

- některé křivky nejsou reprodukovány dokonale
- není specifikován model atmosféry
- nezabývá se stabilitou řešení
- neosvětluje příčinu expanze



Srovnání dosvitů a supernov

Supernovy:

- malé expanzní rychlosti ($\sim 10^3$)
- v obálce je obsažen radioaktivní zdroj tepla

Dosvity:

- extrémně velké expanzní rychlosti ($\sim c$)
- obálka je bez zdrojů energie

Reference

<http://www.physics.muni.cz/~hroch>