

Kollapszár szupernóva-robbanások fénygörbe-modellezése

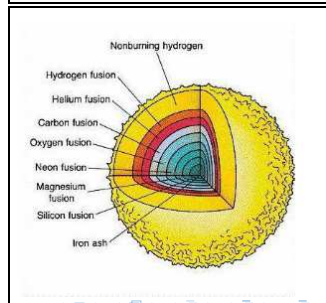
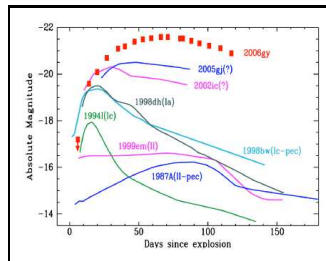
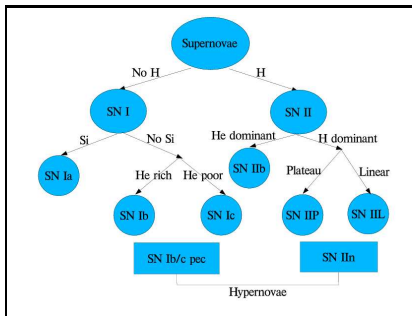
Nagy Andrea

Optikai és Kvantumelektronikai Tanszék
Szegedi Tudományegyetem

2014. szeptember 18.

Kollapszár Szupernóvák Tulajdonságai

- Nagy tömeg ($M > 8 M_{\odot}$)
- Vasmag \rightarrow hagymahéj szerkezet
- $E \sim 10^{51}$ erg
- $v_{max} \sim 10,000$ km/s
- Eltérő fénygörbe és spektrum



Miért készítünk modelleket?

Nem tudunk

- odautazni a csillagokhoz
- szupernóvát előállítani a laboratóriumban

Tudjuk

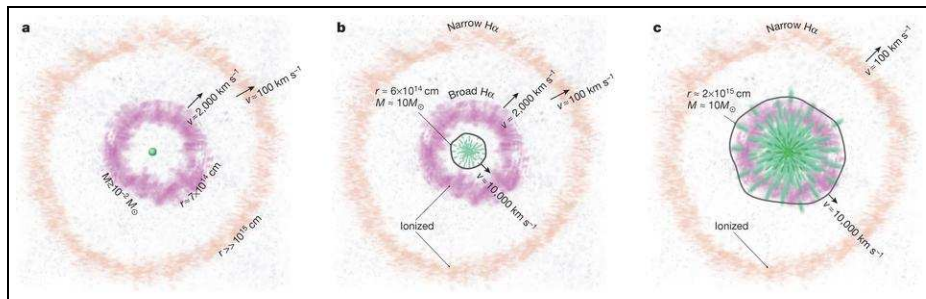
- a szupernóva fénygörbéjét vizsgálni
- fizika törvényeit alkalmazni



A modellezés eredményeit össze kell vetni a mérésekkel!

Analitikus Modellek Általában

- 1 dimenzió
- Egyszerűsített felépítés
- Forgásmentes közeg
- Sok előfeltétel



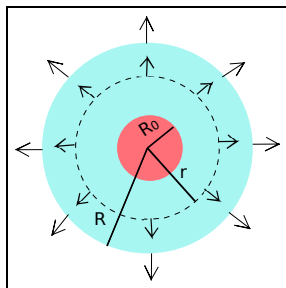
Ohek et al., Nature 494, 2013

Alapfeltevések

- Gömbszimmetria
- Homológ tágulás:

$$v_r = v_{sn} \cdot r(t)/R(t)$$

$$r(t) = R_0 + v_r \cdot t$$



- Központi energiatermelés (ϵ [erg/g/s])
- Teljesen ionizált H-burok \rightarrow rekombináció
- Konstans optikai opacitás (elektron szórás):

$$\kappa(\mathbf{x}, t) = \begin{cases} \kappa_t & , T \geq T_{ion} \\ 0 & , T < T_{ion} \end{cases}$$

Radioaktív energiatermelés

- Termodinamika Első Főtétele:

$$\frac{dE}{dt} + P \frac{dV}{dt} = \epsilon - \frac{\partial L}{\partial m} = \epsilon - \frac{1}{4\pi\rho r^2} \frac{\partial L}{\partial r}$$

- Fotondiffúzió
- Dimenziótlán sugár: $x = r(t)/R(t)$
- Feltételezett profilok:

$$T(\mathbf{x}, t)^4 = T(0, 0)^4 \psi(\mathbf{x}) \phi(t) (R_0/R(t))^4$$

$$\rho(\mathbf{x}, t) = \rho(0, 0) \eta(\mathbf{x}) (R_0/R(t))^3$$

$$\epsilon(\mathbf{x}, t) = \epsilon(0, 0) \zeta(\mathbf{x}) \xi(t)$$

Radioaktív energiatermelés

A luminozitás kiszámításához meg kell oldani a következő egyenletet:

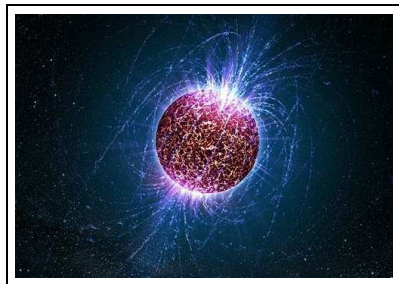
$$\frac{d\phi(t)}{dt} = \frac{R(t) \tau_{Ni}}{R_0 x_i^3} \left[\frac{M_{Ni} \epsilon_{Ni}}{E_{Th}} \xi(t) - \frac{x_i \phi(t)}{\tau_d} - \frac{2 R_0 x_i^2 \phi(t)}{R(t)} \frac{dx_i}{dt} \right]$$

Végül:

$$L(t) = x_i(t) \frac{\phi(t) E_{Th}}{\tau_d} + 4 \pi x_i(t)^2 R(t)^2 Q \rho(x, t) R_0 \frac{dx_i}{dt}$$

Magnetár energiatermelés

- Neutroncsillag
- Erős mágneses tér:
 $10^{14} - 10^{15} \text{G}$
- Gyors lefutású fénygörbe
→ Ib/c szupernóvák



Magnetár energiatermelés:

$$\epsilon(t) = \epsilon_{Ni}(t) + \epsilon_M(t)$$

$$\epsilon_M(t) = \frac{E_p}{t_p M_{ej}} \frac{1}{(1 + t/t_p)^2}$$

Magnetár energiatermelés

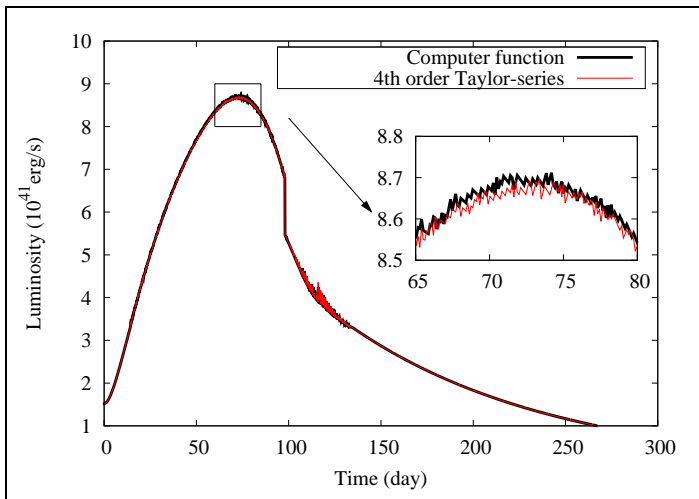
A luminozitás kiszámításához meg kell oldani a következő egyenletet:

$$\frac{d\phi(t)}{dt} = \frac{R(t) \tau_{Ni}}{R_0 x_i^3} \left[\frac{M_{Ni} \epsilon_{Ni}}{E_{Th}} \xi(t) - \frac{x_i \phi(t)}{\tau_d} - \frac{2 R_0 x_i^2 \phi(t)}{R(t)} \frac{dx_i}{dt} + \frac{E_p}{E_{Th}(0)t_p} \frac{1}{(1 + t/t_p)^2} \right]$$

Végül:

$$L(t) = x_i(t) \frac{\phi(t) E_{Th}}{\tau_d} + 4 \pi x_i(t)^2 R(t)^2 Q \rho(x, t) R_0 \frac{dx_i}{dt}$$

Numerikus Hibák

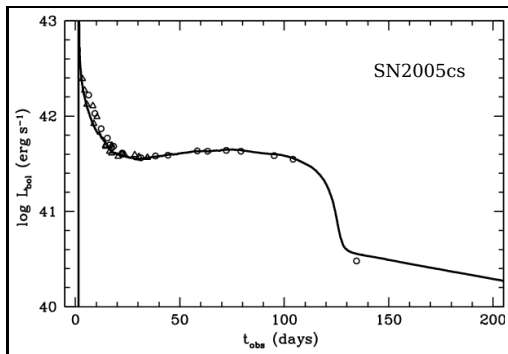


Más problémák



IIP Típusú Szupernóvák

- Közel konstans luminozitás ~ 100 napig \rightarrow plató
- $M \sim 9-25 M_{\odot}$
- $R \sim 70-600 R_{\odot}$
- $E \sim (0.5-4) \times 10^{51}$ erg

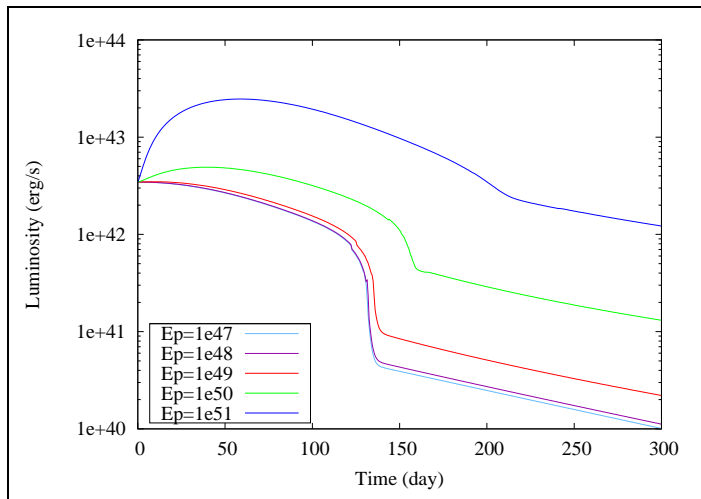


Heger et al., ApJ 591, 2003

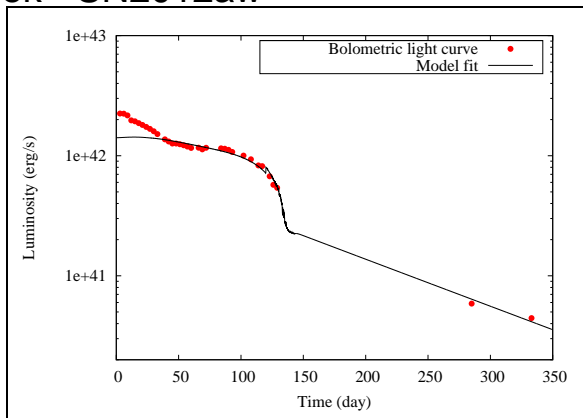
Kasen & Woosley, ApJ 703, 2009

Utrobin & Chugai, A&A 491, 2008

Eredmények - Magnetár



Eredmények - SN2012aw

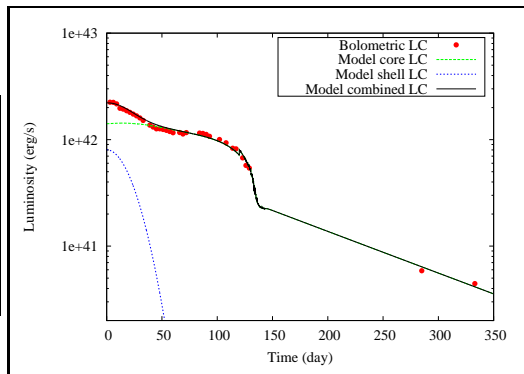


Paraméterek	$R_0(\text{cm})$	$M_{ej}(M_{\odot})$	$M_{Ni}(M_{\odot})$	$E_{tot}(\text{erg})$
Analitikus modell	$2.95 \cdot 10^{13}$	20	0.056	$2.2 \cdot 10^{51}$
Hidrodinamikai modell	$3.0 \cdot 10^{13}$	20	0.056	$1.5 \cdot 10^{51}$

Eredmények - SN2012aw

Továbbfejlesztett illesztés:
Két-komponensű modell

	mag	burok
$R_0(10^{13}\text{cm})$	2.95	3.7
$M_{ej}(M_\odot)$	20	0.55
$M_{Ni}(M_\odot)$	0.056	0.0
$E_{SN}(10^{51}\text{erg})$	2.4	0.7
$\kappa_t(\text{cm}^2/\text{g})$	0.13	0.4

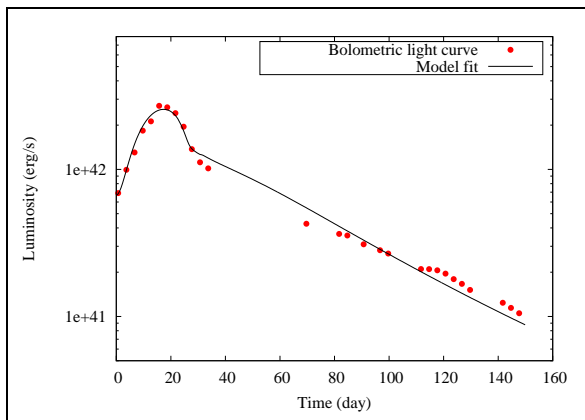


IIb Típusú Szupernóvák

- II típusú spektrum a korai fázisban
- Ib/c jellemzők a késői színekben
- H és/vagy He részben vagy teljesen hiányzik
- "Gamma-szivárgás":

$$L(t) = x_i \frac{\phi(t) E_{Th}(0)}{\tau_d} \left(1 - e^{-A_g/t^2}\right) + 4\pi x_i(t)^2 R(t)^2 Q_\rho(x, t) R_0 \frac{dx_i}{dt}$$

Eredmények - SN2008ax



Paraméterek	$R_0(\text{cm})$	$M_{ej}(M_{\odot})$	$M_{Ni}(M_{\odot})$	$E_{tot}(\text{erg})$
Modell	$3.82 \cdot 10^{11}$	0.96	0.098	$7.3 \cdot 10^{51}$

Összefoglalás

- Analitikus modellek segíthetnek a komplikáltabb szimulációk paramétertartományának behatárolásában
- Jobban megérthetjük a szupernóva-robbanások alapvető fizikáját
- Képesek vagyunk megbecsülni a szupernóva-robbanások tulajdonságait
- A pontosabb modellezéshez hidrodinamikai kódokra van szükség

Köszönöm a figyelmet!

Ezt a munkát az OTKA NN 107637 pályázat támogatta