

SEMINAR KATEDRE ZA ASTRONOMIJU, 21.5.2013.

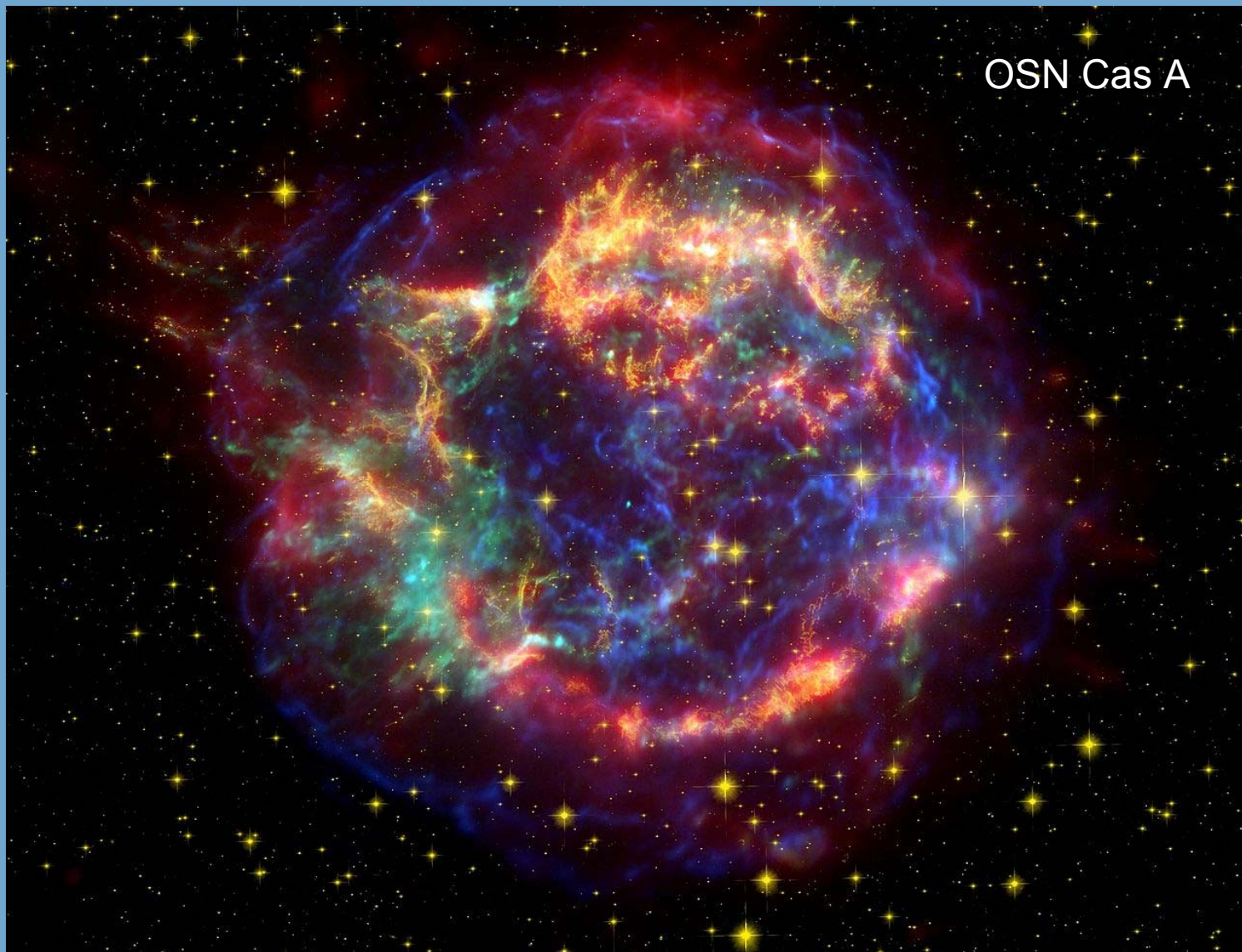
***Dušan Onić & Bojan Arbutina***

*Katedra za astronomiju, Matematički fakultet, Univerzitet u Beogradu*

# *X-zračenje ostataka supernovih*



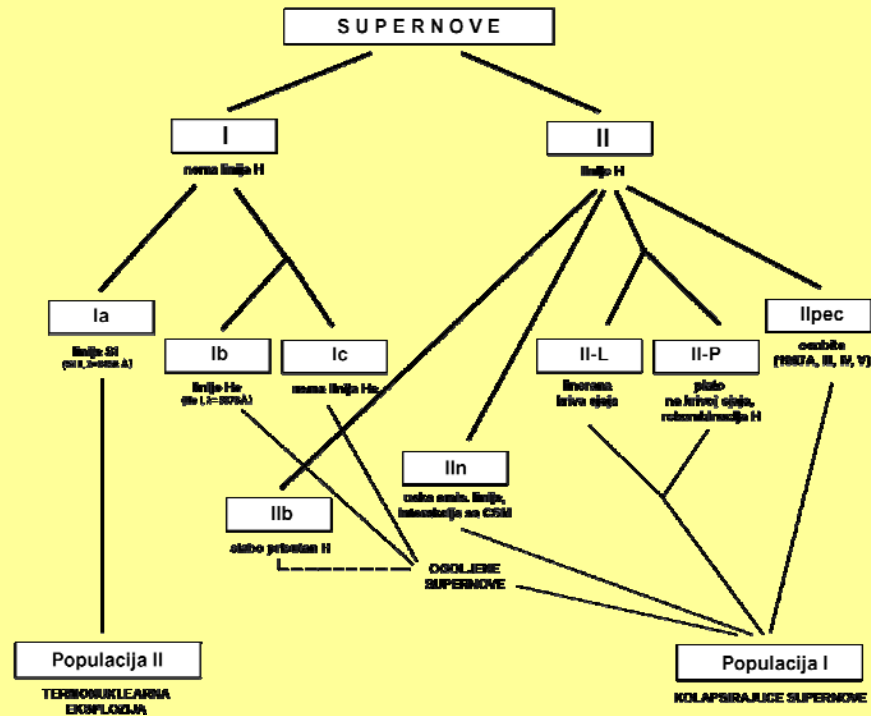
- Ostaci supernovih:
  - formiranje i evolucija bezsudarnog udarnog talasa: *rođenje i život* OSN
  - udarni talas zagreva, jonizuje i kompresuje sredinu
  - retka i gusta sredina: različita evolucija
  - klasične faze u evoluciji OSN: realnost mnogo složenija



OSN Cas A

# VEZA SUPERNOVA – OSTATAK SUPERNOVE

- Posmatračka klasifikacija SN:

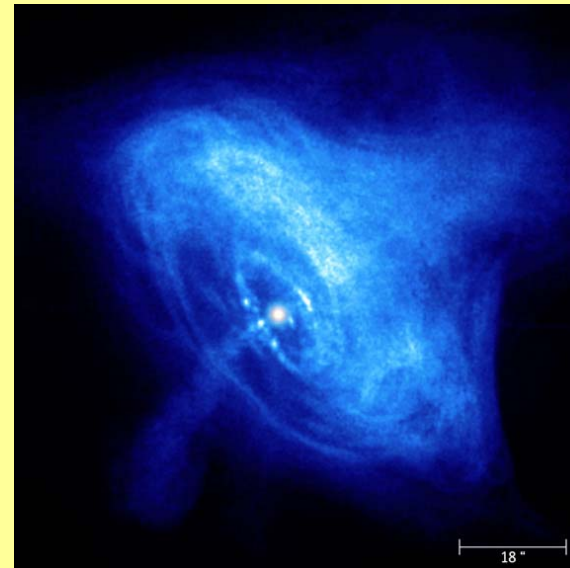
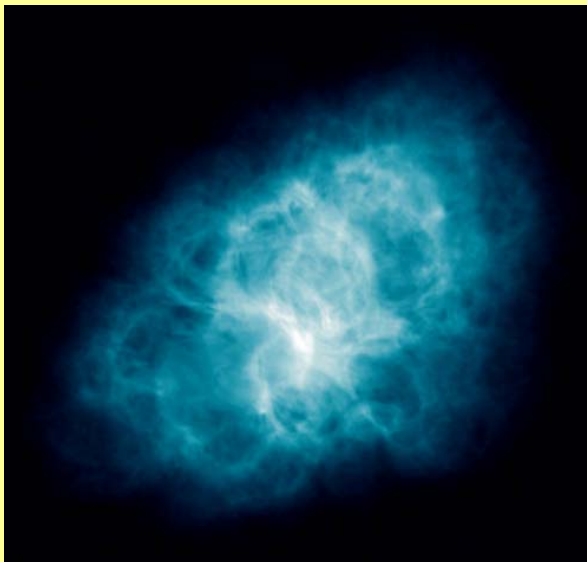


- Fizička klasifikacija: kolapsirajuće i termonuklearne

## VEZA SUPERNOVA – OSTATAK SUPERNOVE

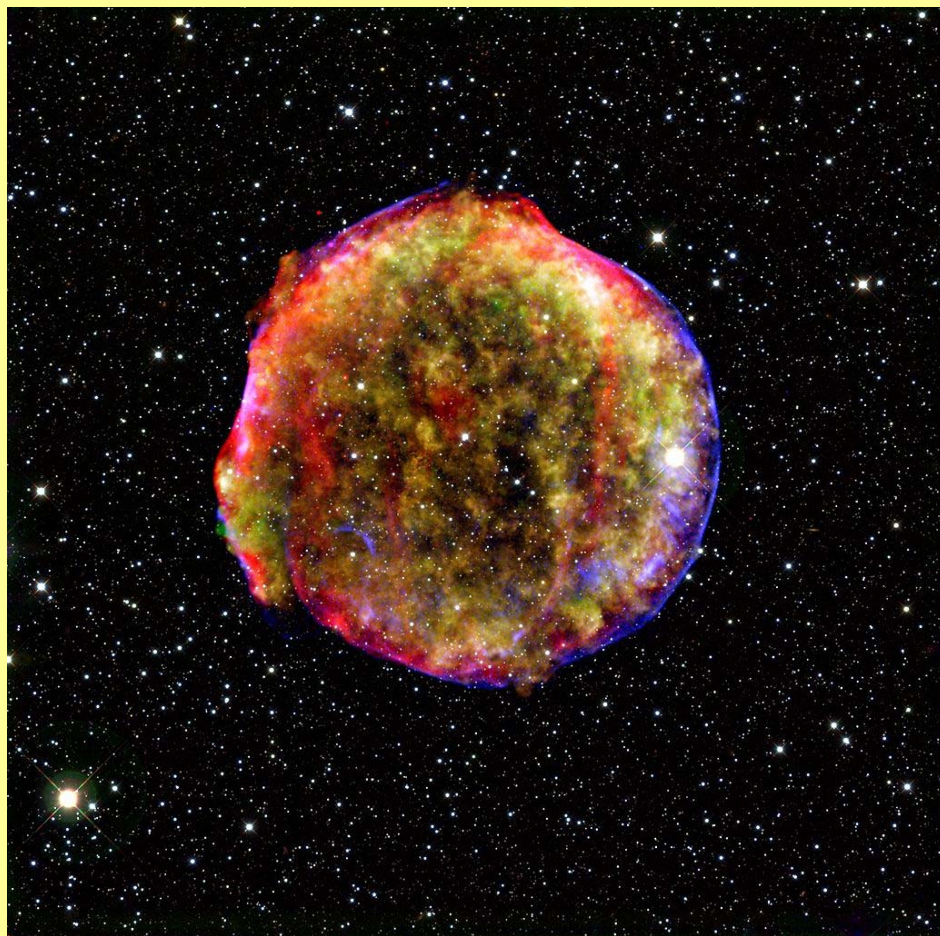
- Posmatračka klasifikacija OSN:

- ljuskasti OSN
- kompozitni OSN
- OSN mešane morfologije
  
- centralno popunjeni (manifestacija pulsarske magline)

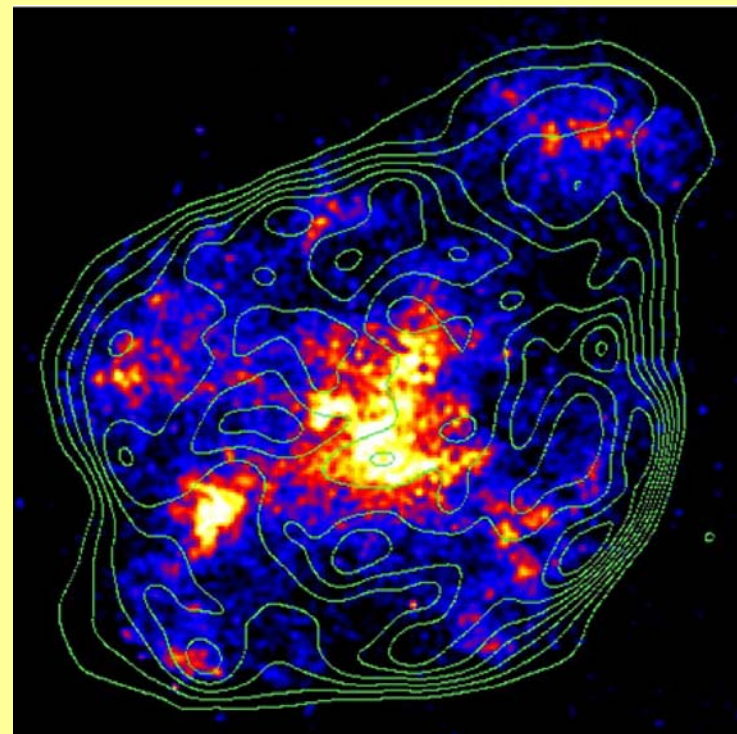


Krab

# VEZA SUPERNOVA – OSTATAK SUPERNOVE



OSN Tiho



OSN MSH 11-61A

# VEZA SUPERNOVA – OSTATAK SUPERNOVE

- *Balmer-dominated* (mladi) OSN – uglavnom SN Ia
- *Oxygen-rich* (mladi) OSN – kolapsirajuće SN

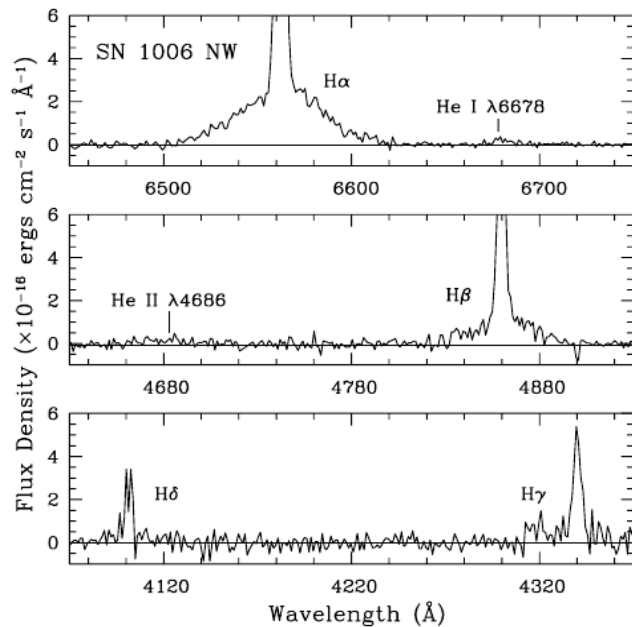
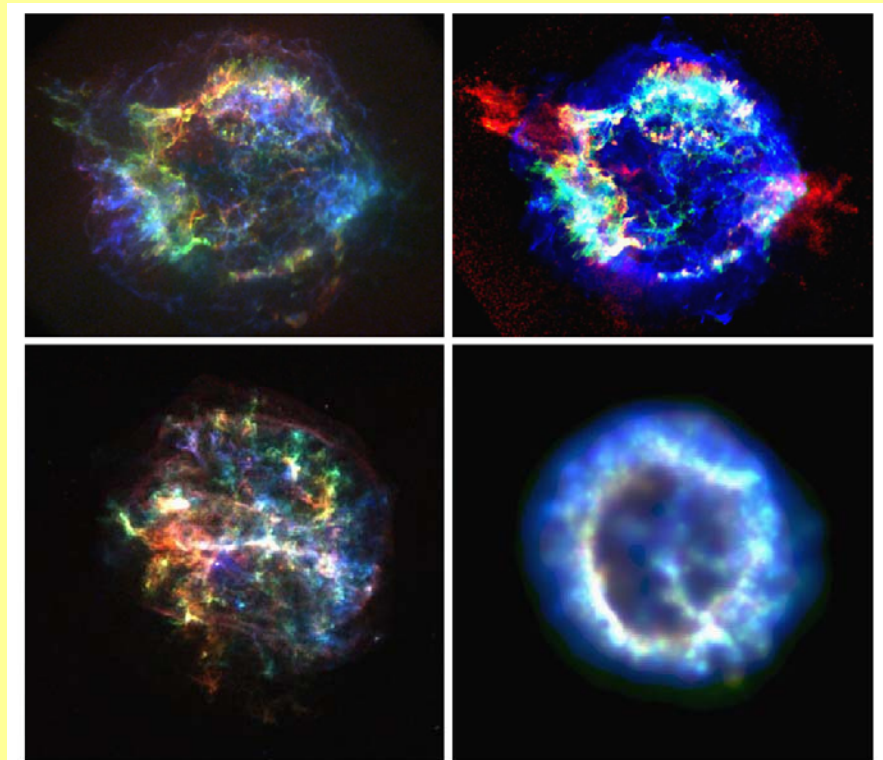


FIG. 3.— Closeup view of the NW SN 1006 Balmer spectrum. No smoothing has been applied. Among the newly detected lines is He I  $\lambda$ 6678. There may also be a weak detection of the He II  $\lambda$ 4686 line.



# X-ZRAČENJE OSTATAKA SUPERNOVIH

- *Einstein, ROSAT, ASCA, Chandra, XMM Newton, Suzaku...*
- odličan pregled dat u radu [Vink \(2012\)](#)







*Cas A, Kepler,  
Tycho, Crab*

*Chandra X-ray Observatory / Harvard Smithsonian Center for Astrophysics / NASA*

## X-ZRAČENJE OSTATAKA SUPERNOVIH

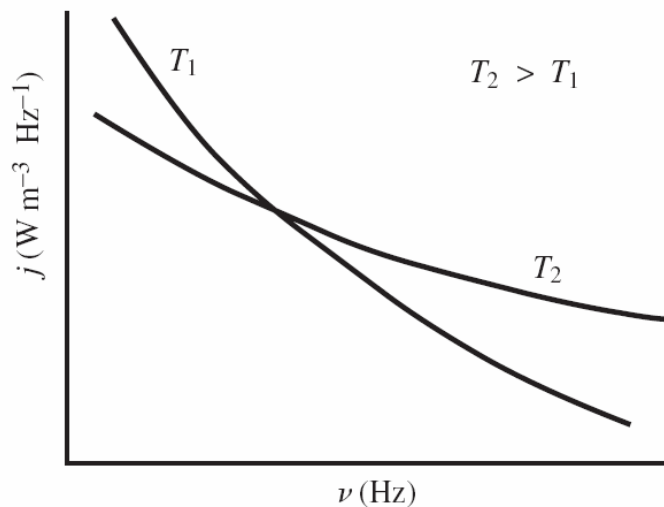
- Plazma mladih OSN nije u *CIE* zbog relativno male gustine sredine – *NEI* modeli - naglo zagrevanje plazme udarnim talasom prati sporiji proces jonizacije - plazma mladih OSN nije *dovoljno jonizovana (underionized plasma)*
- $Te \neq Ti$
- Kod pojedinih OSN detektovan RRC u X-području - plazma više jonizovana nego što bi bilo očekivano u slučaju sudarne jonizacione ravnoteže (*overionized plasma*)

# ZAKOČNO ZRAČENJE - BREMSSTRAHLUNG

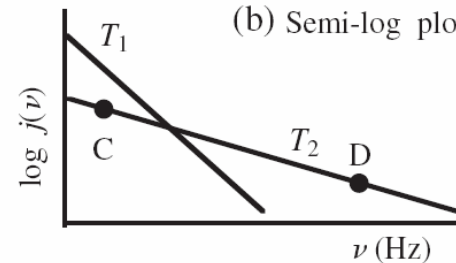
- najčešće se misli na **termalno zakočno zračenje**
- zračenje termalnog elektrona u polju (nepokretnog) jona

$$\varepsilon_\nu = \sum_i n(Z_i)n_e \left( \frac{2m_e}{3\pi kT} \right)^{1/2} \left( \frac{32\pi^2 Z_i^2 e^6}{3m_e^2 c^3} \right) \bar{g}_\nu e^{-h\nu/kT}.$$

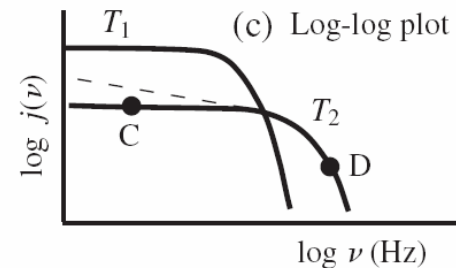
(a) Linear-linear plot



(b) Semi-log plot



(c) Log-log plot



- objekti koji imaju visoku temperaturu zračiće intenzivno u X-oblasti, dok će kada temperatura opadne postati jači emiteri na niskim (radio) frekvencijama u optički retkom domenu – utoliko jači što je veća koncentracija čestica ( $\sim n^2$ )

## ZAKOČNO ZRAČENJE - BREMSSTRAHLUNG

- **netermalno zakočno zračenje** (*non-thermal bremsstrahlung*) – zračenje “blago” relativističkih e-
- raspodela elektrona nije termalna (Maksvelova) – suprathermalne čestice

- dve mogućnosti:

1) suprathermalne čestice koje već postoje u plazmi i predstavljaju “seme” za proces ubrzanja (*injection particles*)

- [Nikolić et al. \(2013\)](#) – optička posmatranja SN1006 (SZ rub) – postoje suprathermalni protoni koji daju doprinos emisiji u H $\alpha$  liniji?

2) čestice koje su već ubrzane

$$N(p) \sim p^{-\gamma}, \quad p < m_e c$$

- relativistički netermalni *bremsstrahlung* [Zeković et al. \(2013\)](#) – u pripremi

- za “blago” relativističke čestice spektralni indeks  $\alpha \sim \gamma / 2$  – iako zavisnost nije strogo u obliku stepenog zakona

- ostale mogućnosti za *bremsstrahlung*, pored e-p sudara: p-e sudari (protonski ili inverzni *bremsstrahlung*), e-e sudari

## SINHROTRONSKO ZRAČENJE

- kod nekih ostataka vidi se da zračenje u kontinuumu ne opada sa frekvencijom po eksponencijalnom već po stepenom zakonu
- mlađi ostaci – *X-ray synchrotron*
- u oblasti visokih energija obično se umesto spektralnog koristi fotonski indeks

$$N(h\nu) \sim (h\nu)^{-\Gamma}$$

- veza između spektralnog i fotonskog indeksa:  $\Gamma = \alpha + 1$
- veza između spektralnog i energetskeg indeksa elektrona za sinhrotronsko zračenje:  $\gamma = 2\alpha + 1$
- posmatrani fotonski indeksi su u granicama  $\Gamma = 2-3.5$  – spektar elektrona koji zrače u X-oblasti mora biti jako strm – izuzetno veliki gubici na zračenje (dovode do ustrmljavanja spektra)

## H-R DIJAGRAM ZA OSTATKE SUPERNOVIH

- X-luminoznost za (termalno) zakočno zračenje

$$\varepsilon_\nu = \sum_i n(Z_i) n_e \left( \frac{2m_e}{3\pi kT} \right)^{1/2} \left( \frac{32\pi^2 Z_i^2 e^6}{3m_e^2 c^3} \right) \bar{g}_\nu e^{-h\nu/kT}$$

$$L_\nu = \int \varepsilon_\nu dV$$

$$L = \int_{\nu_L}^{\infty} L_\nu d\nu \propto n_H n_e (kT)^{1/2} e^{-E_L/kT} V$$

- granice detektora nisu iste. Problem gornje granice je manje izražen budući da se radi o eksponencijalnom repu spektralne raspodele
- problem daljina do ostataka
- izabrano 20 ostataka u Velikom i Malom Magelanovom oblaku
- X-evolucija, evolutivne trake

# H-R DIJAGRAM ZA OSTATKE SUPERNOVIH

- H – R (tj.  $L_X - kT$ ) dijagram za ostatke supernovih

- Magnier et al. (1997) -  $\Sigma_X - D$  relacija u X-oblasti

$$L_X = \Lambda n_0^2 V$$

$$\Lambda \propto kT^{1/2} e^{-E_L/kT}$$

$$\log \Lambda \propto \log A \propto \Delta \log A$$

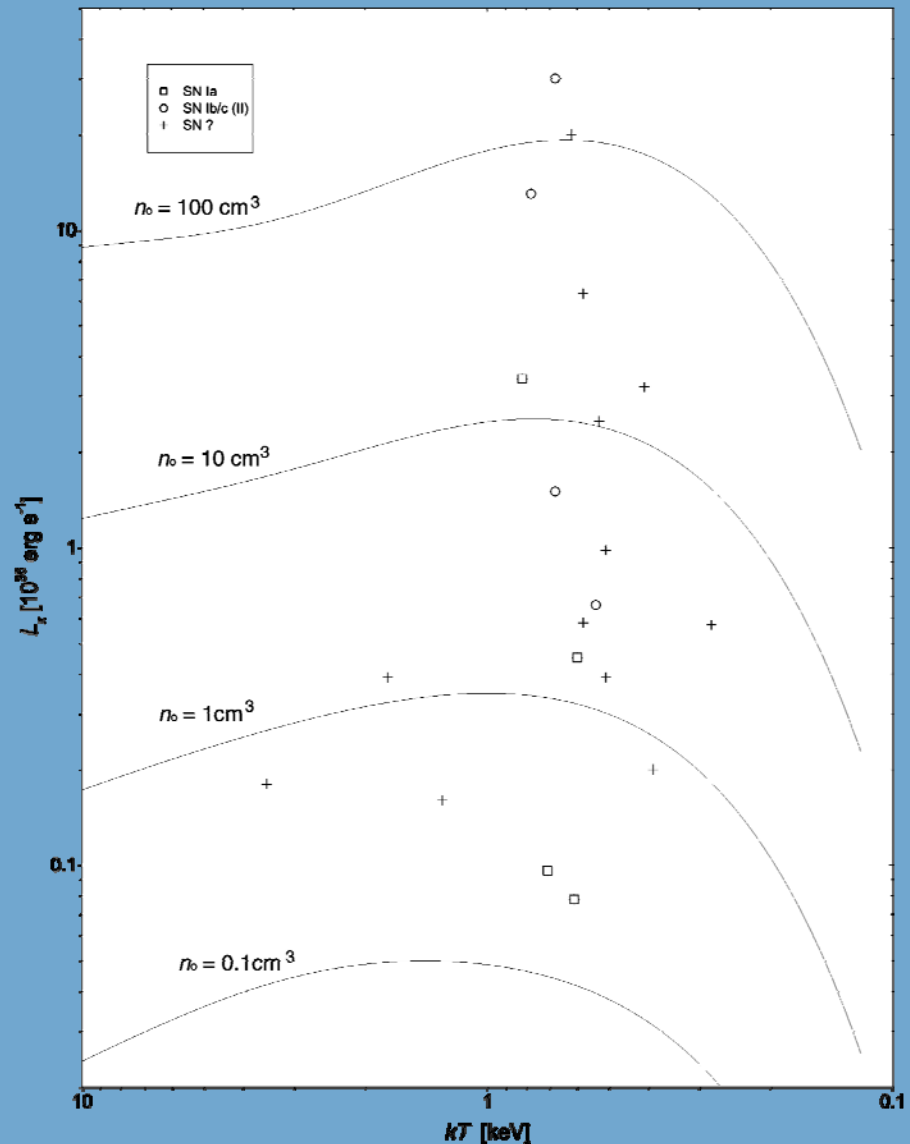
$$kT = 3/16 \mu m_H v^2 \propto E_0/n_0 D^{-3}$$

$$L_X \propto f \delta \Lambda n_0 kT^{1/2} e^{-E_L/kT}$$

$$\delta \Lambda = 10^{\Delta \log A}$$

- model:  $E_{51}=1$ ,  $f=0.25$ ,  $E_L=0.5$  keV
- IKT 4, 16 DEM S32 – ostaci SN Ia?

- PROBLEMI ?
- buduća istraživanja



*Hvala na pažnji !*

