



Applicazioni Astrofisiche II

Dalle nane bianche ai raggi cosmici

Cosa vedremo stasera?

- Materia degenere
- Processo URCA



- Nane bianche
- Stelle di Neutroni
- Supernovae
- Raggi cosmici

Materia degenere

Bosoni



- No principio di esclusione di Pauli: condensati di Bose-Einstein
- Statistica di Bose-Einstein
- Esempi: mediatori delle forze, ${}^4\text{He}$

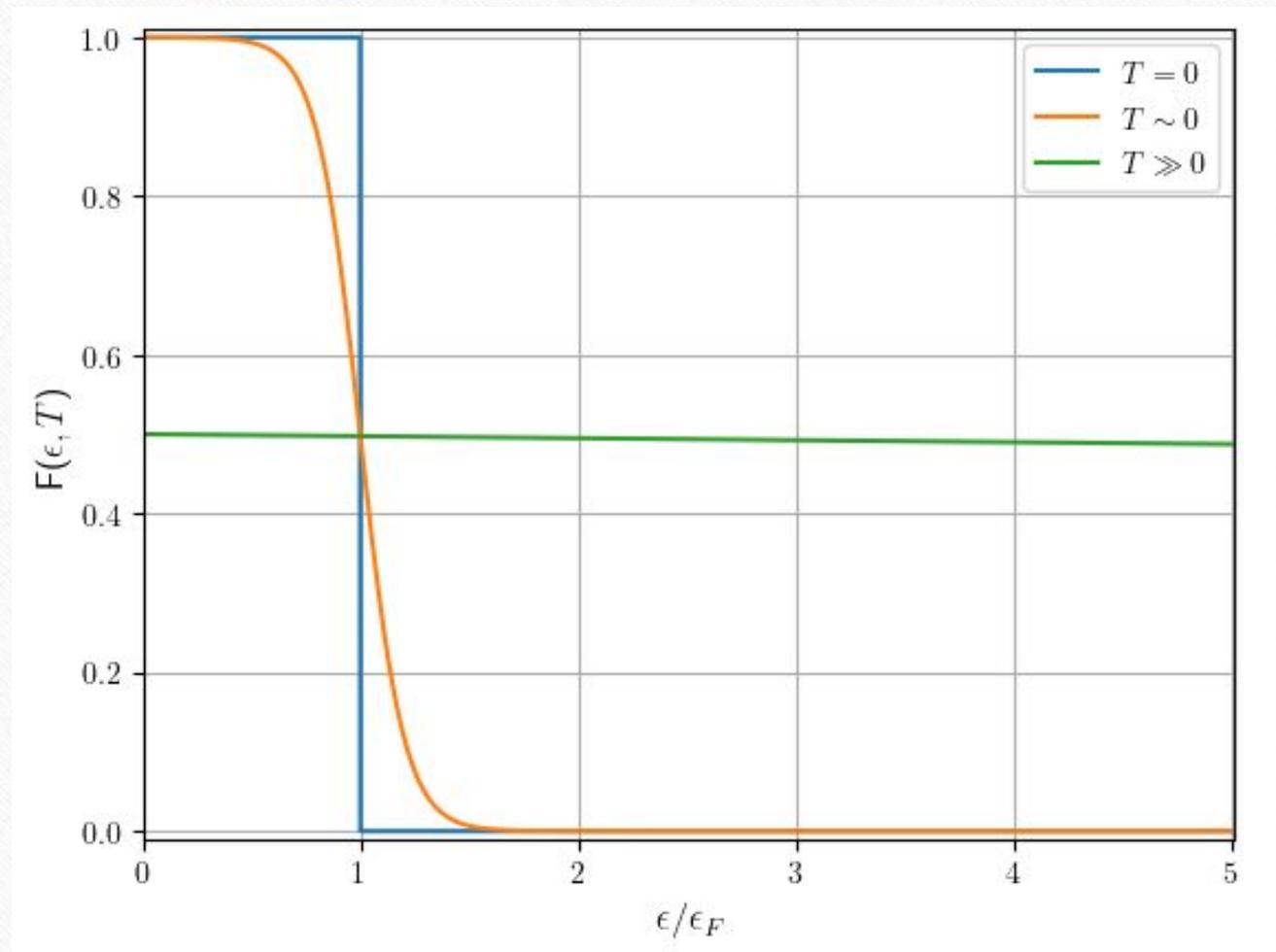
Fermioni



- Seguono principio di esclusione di Pauli
- Statistica di Fermi-Dirac
- Esempi: e^- , p^+ , n

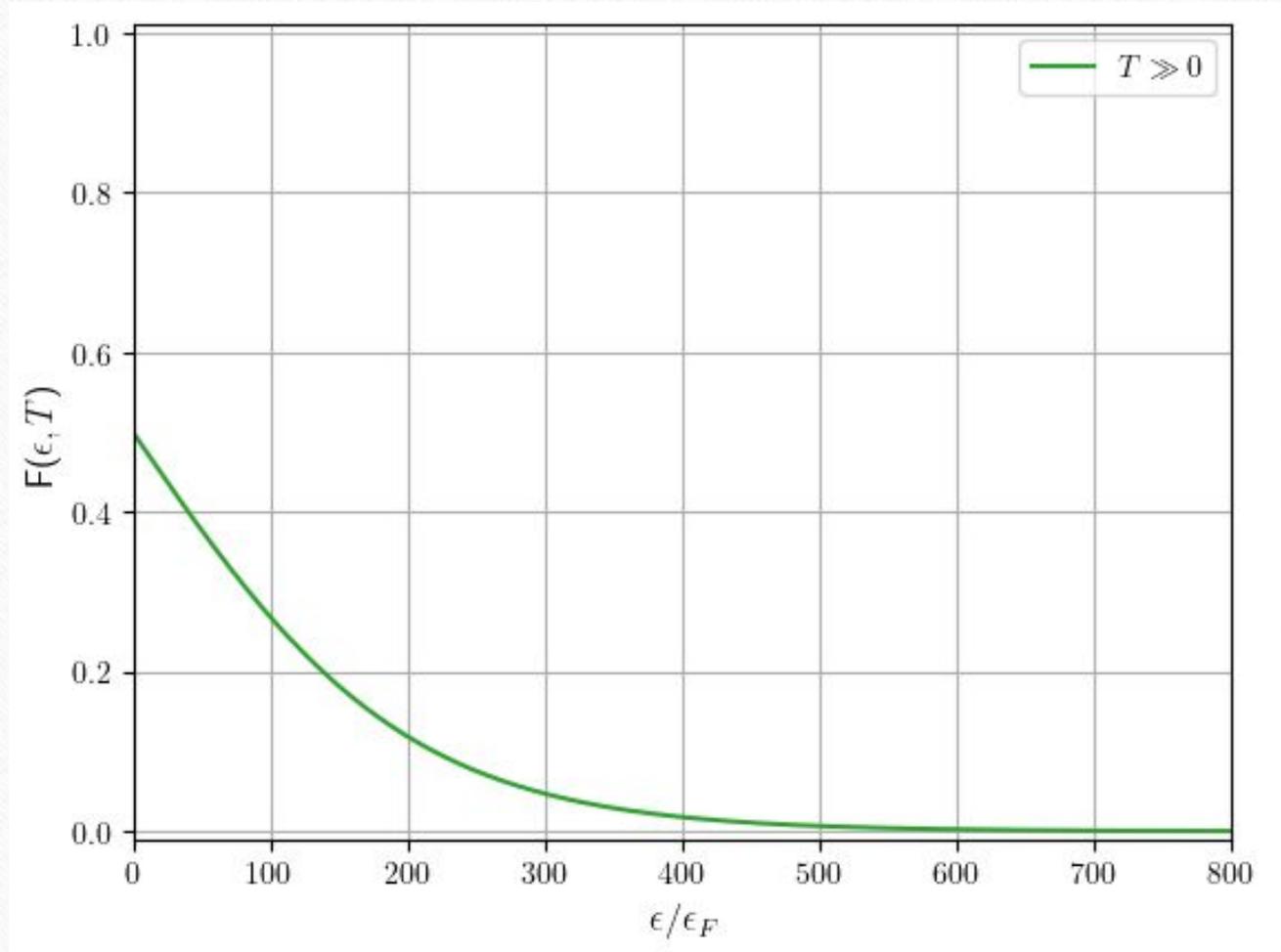
Fermioni: Funzione di occupazione

- $F(\epsilon, T) = \frac{1}{e^{\frac{\epsilon - \epsilon_F}{k_B T}} + 1}$, $T \sim 0$ K
- Energia di Fermi:
aumenta all'aumentare della
densità e/o al diminuire della
massa delle particelle
- Pressione di degenerazione



Fermioni: Funzione di occupazione

- $F(\epsilon, T) = \frac{1}{e^{\frac{\epsilon - \epsilon_F}{K_B T}} + 1}$, $T \sim 0$ K
- Energia di Fermi:
aumenta all'aumentare della
densità e/o al diminuire della
massa delle particelle
- Pressione di degenerazione



Materia degenerare
posti davanti prenotati?



Materia degenerare
posti davanti prenotati?



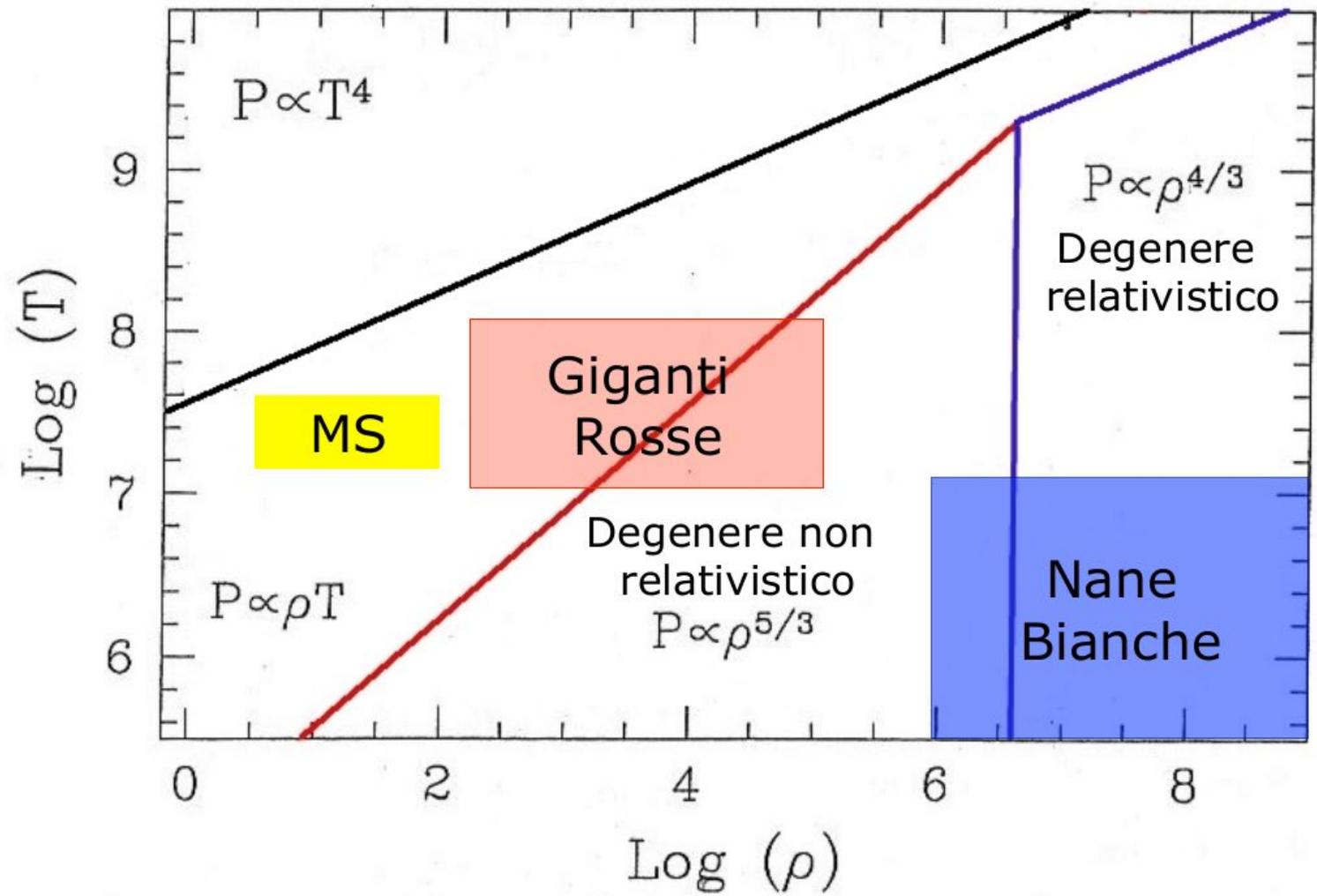
Materia degenerare posti davanti prenotati?



Materia degenerare posti davanti prenotati?



Equazioni di stato

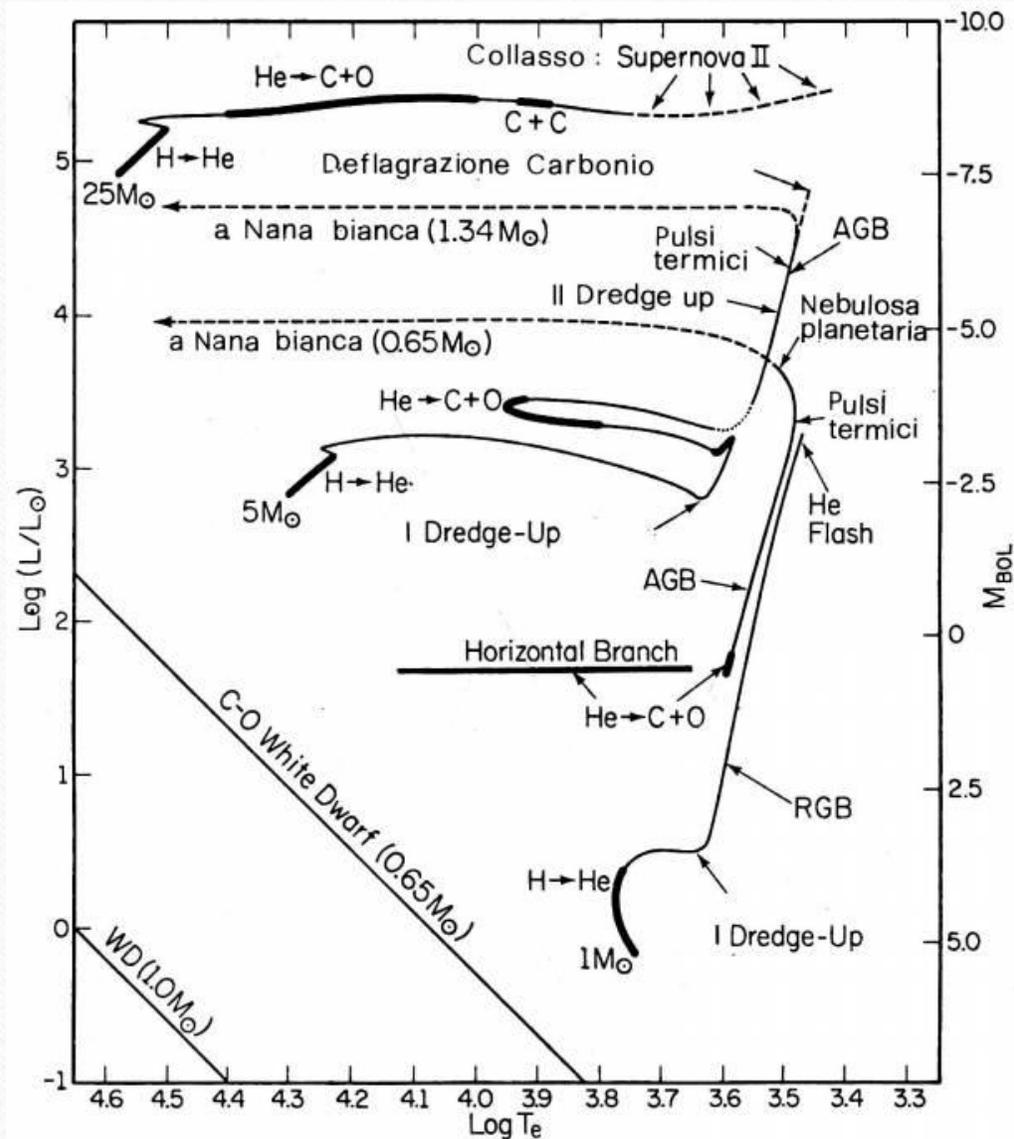


Credit: Ferraro Francesco Rosario

Nane bianche

- Massa simile al Sole
- Temperature di 27000 K
- Raggi simili alla Terra
- Densità 10^6 volte il Sole
- $L = 10^{-3}$ volte il Sole
- Equilibrio degli e^- degeneri

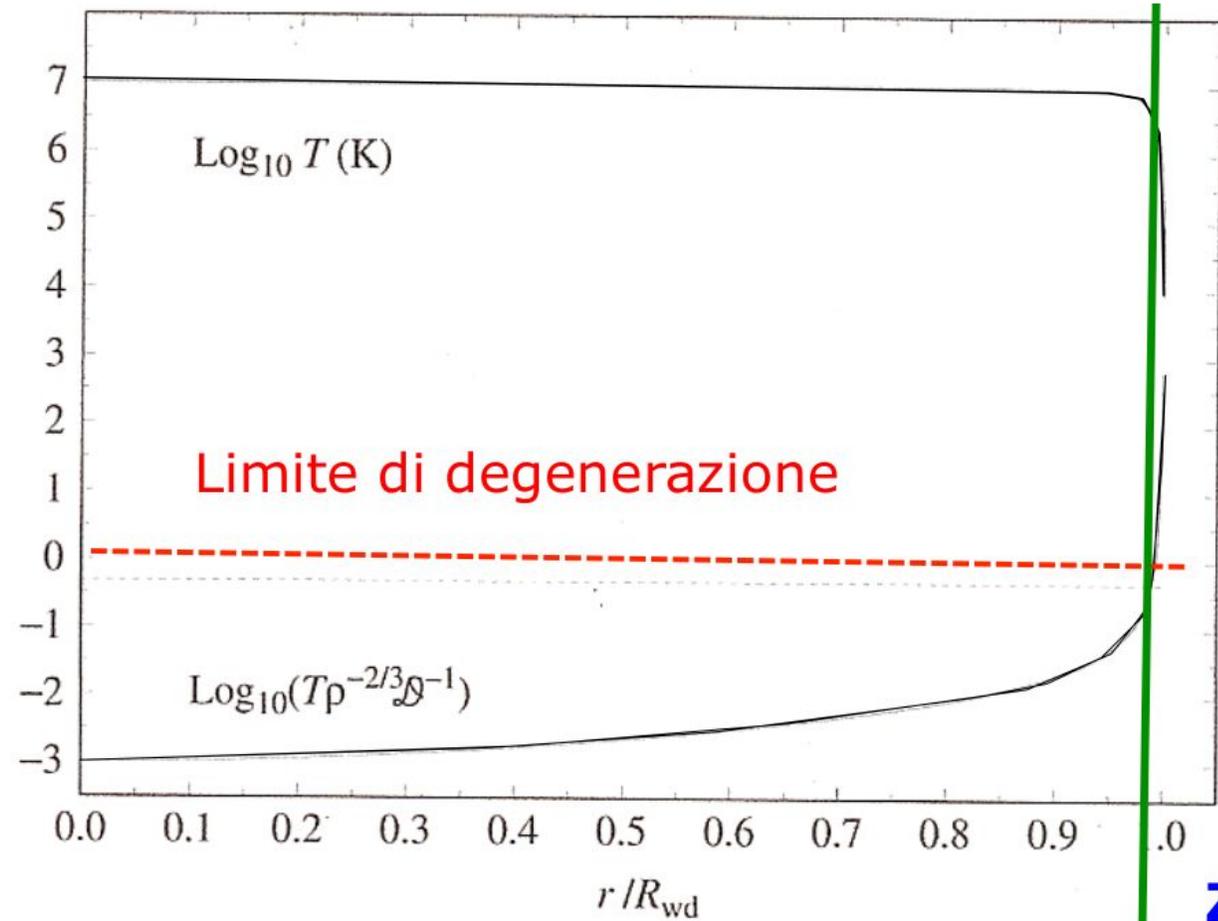
Credit: Ferraro Francesco Rosario



Nane bianche

- Equilibrio idrostatico e densità costante in ambiente non relativistico:
raggio aumenta al diminuire della massa
- Equilibrio idrostatico e densità costante in ambiente relativistico:
massa limite di Chandrasekhar, $1.44(1+X)^2 M_{\odot}$
- Se il limite non viene rispettato, posso avere fusione del C: SN Ia

Interno
Nana
Bianca



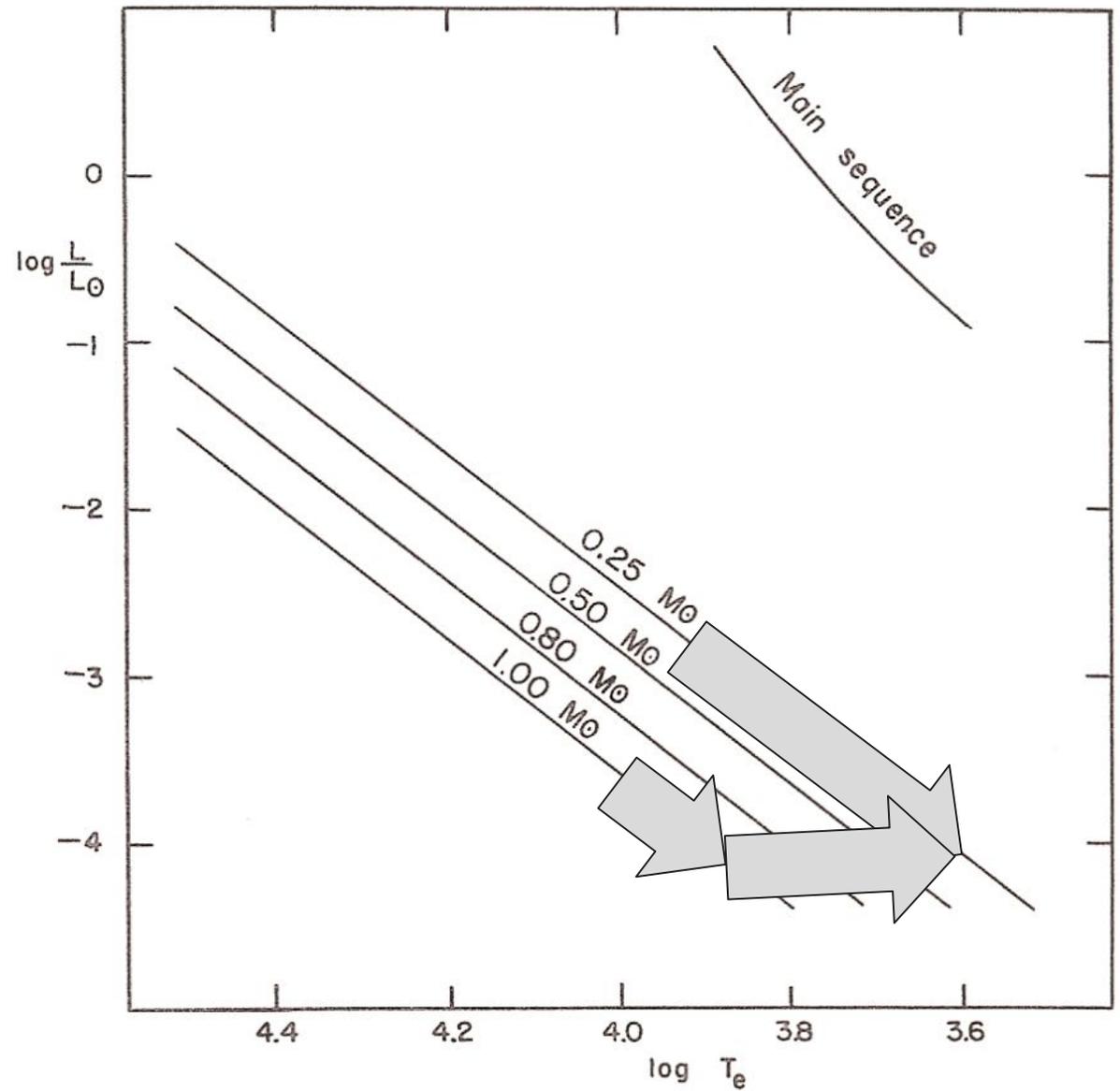
Limite di degenerazione

Zona degenere

Zona non
degenere

Credit: Ferraro Francesco Rosario

Cooling delle Nane Bianche

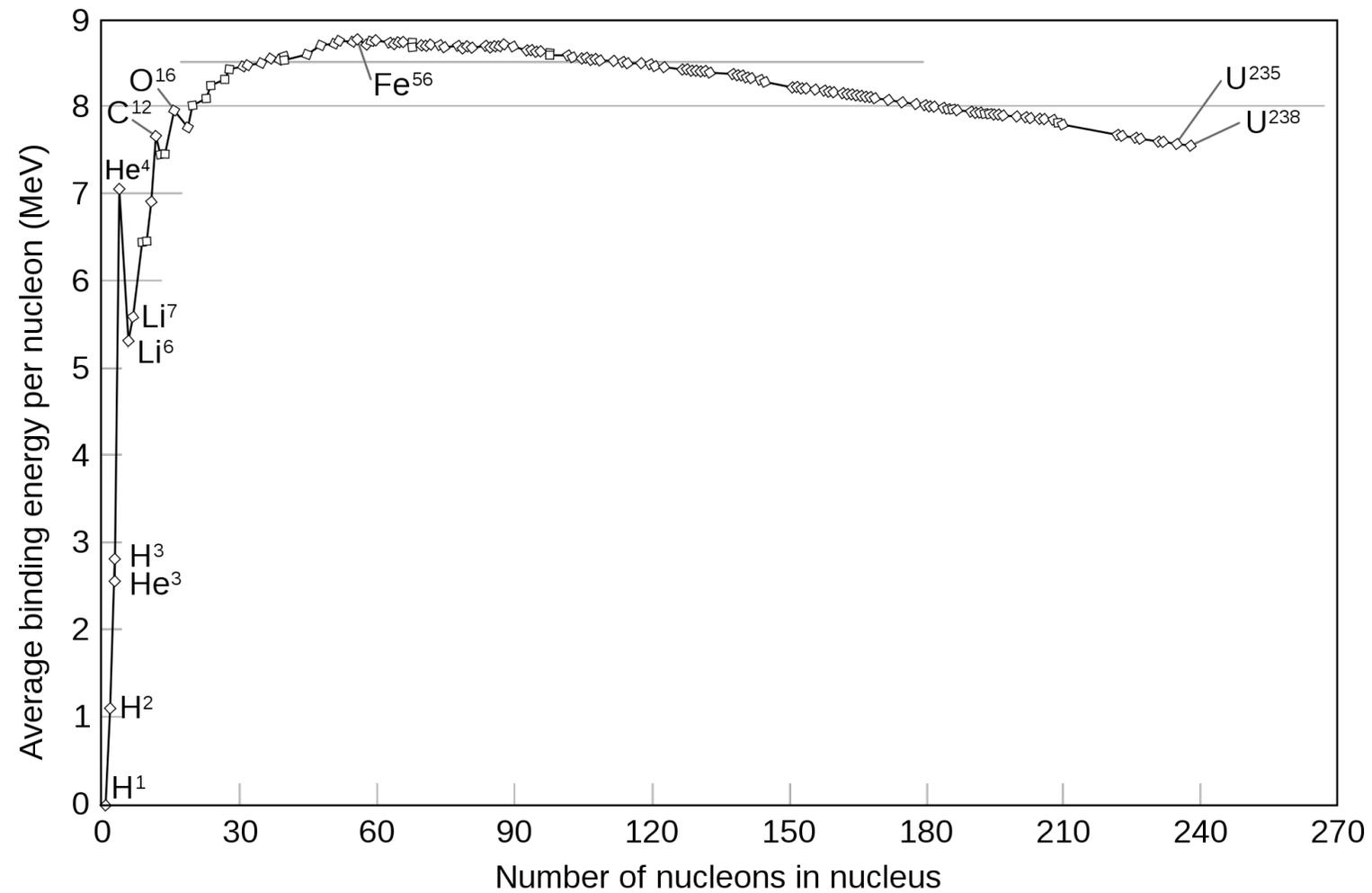


Credit: Ferraro Francesco Rosario

Nane bianche: tipologie

- Nana bianca di He: AGB manqué per stelle cannibalizzate o con $M < 0.5 M_{\odot}$
- Nana bianca di C-O: le più comuni e le uniche a cristallizzare
- Nana bianca di O-Ne-Mg: eventuale fine di stelle tra 7 e 11 M_{\odot}

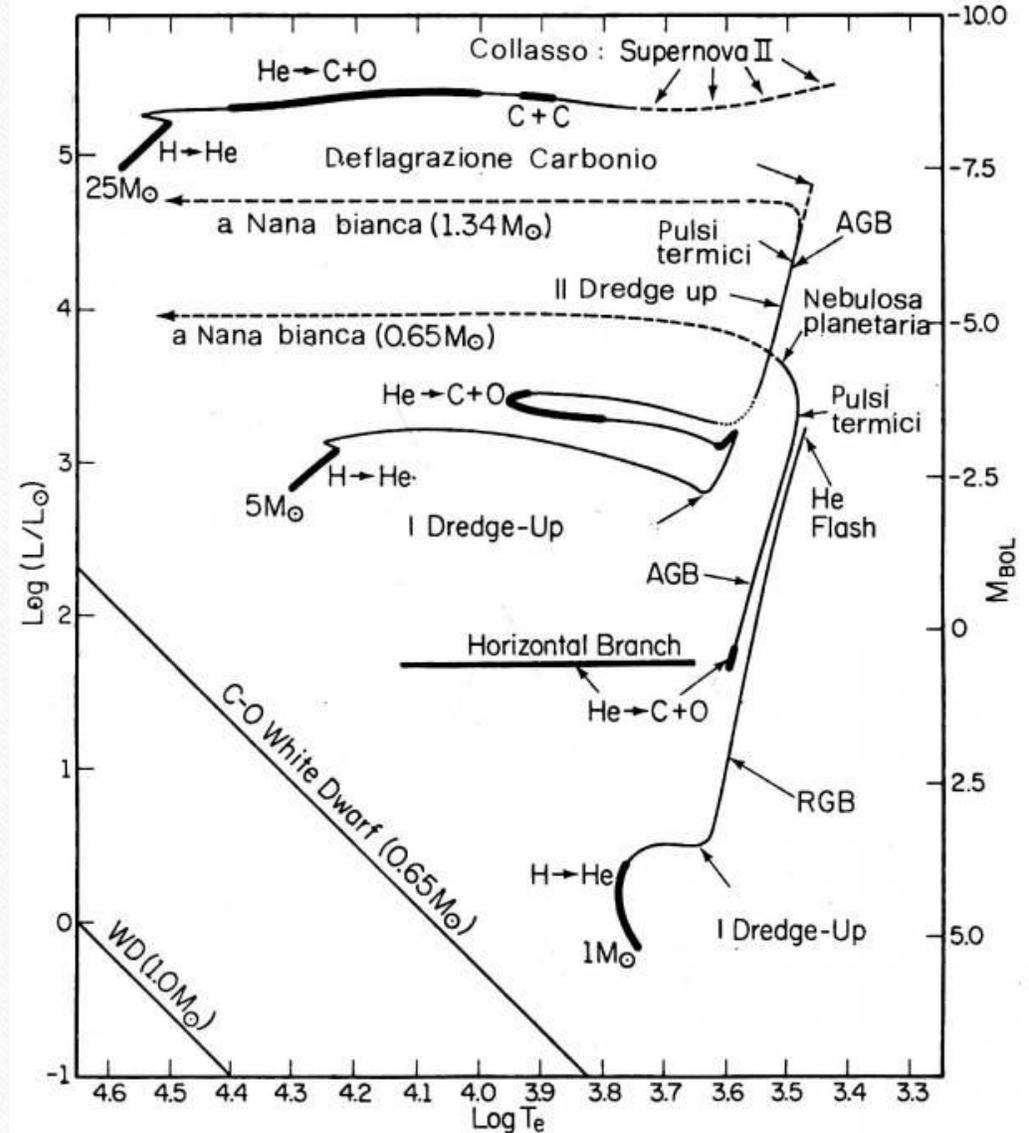
Elementi pesanti



Stella di Neutroni

- Massa poco superiore al Sole
- Temperature di $10^{10} - 10^6$ K
- Raggi di 10 km
- Densità 10^{14} volte il Sole
- Emissione in X
- Equilibrio dei n degeneri

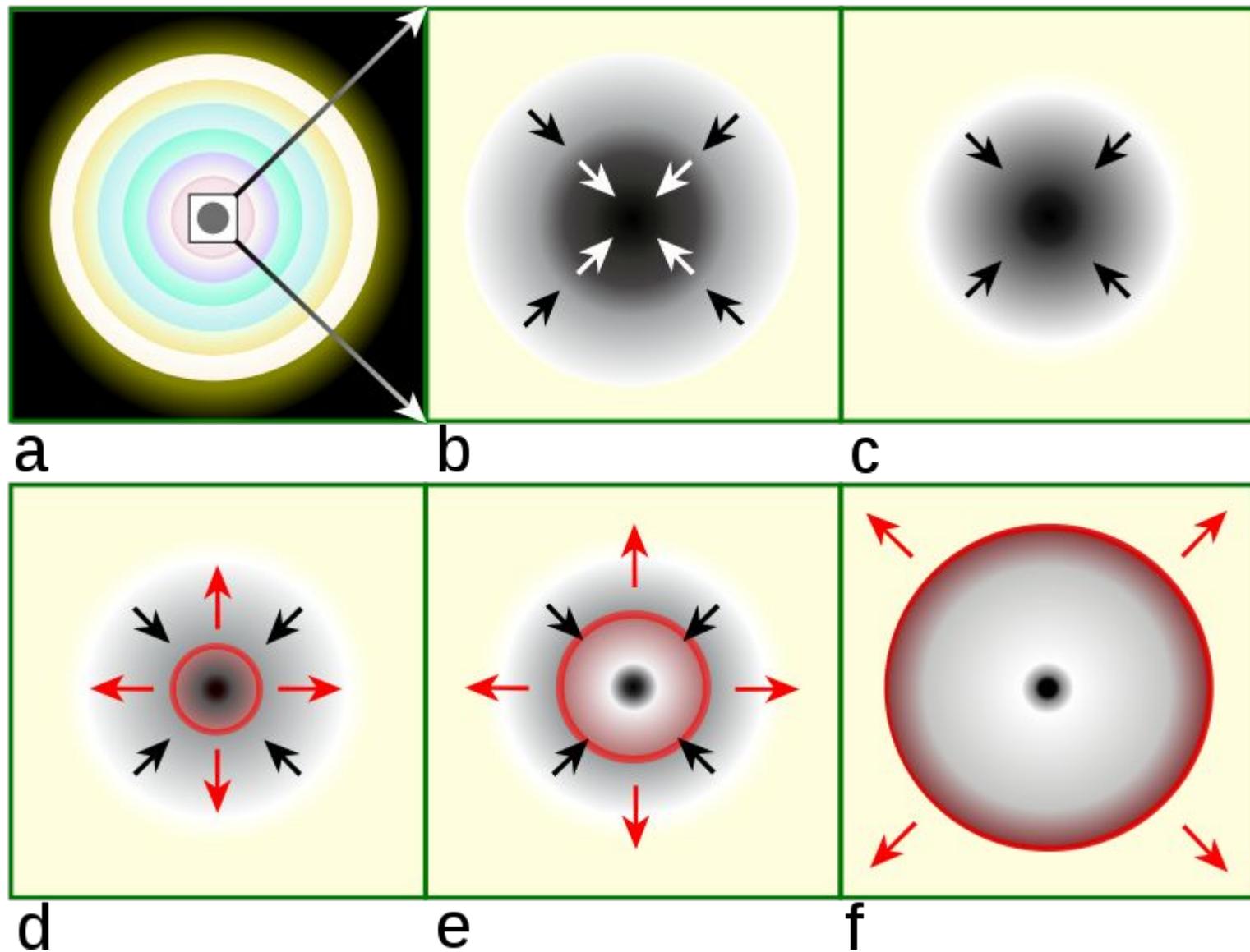
Credit: Ferraro Francesco Rosario



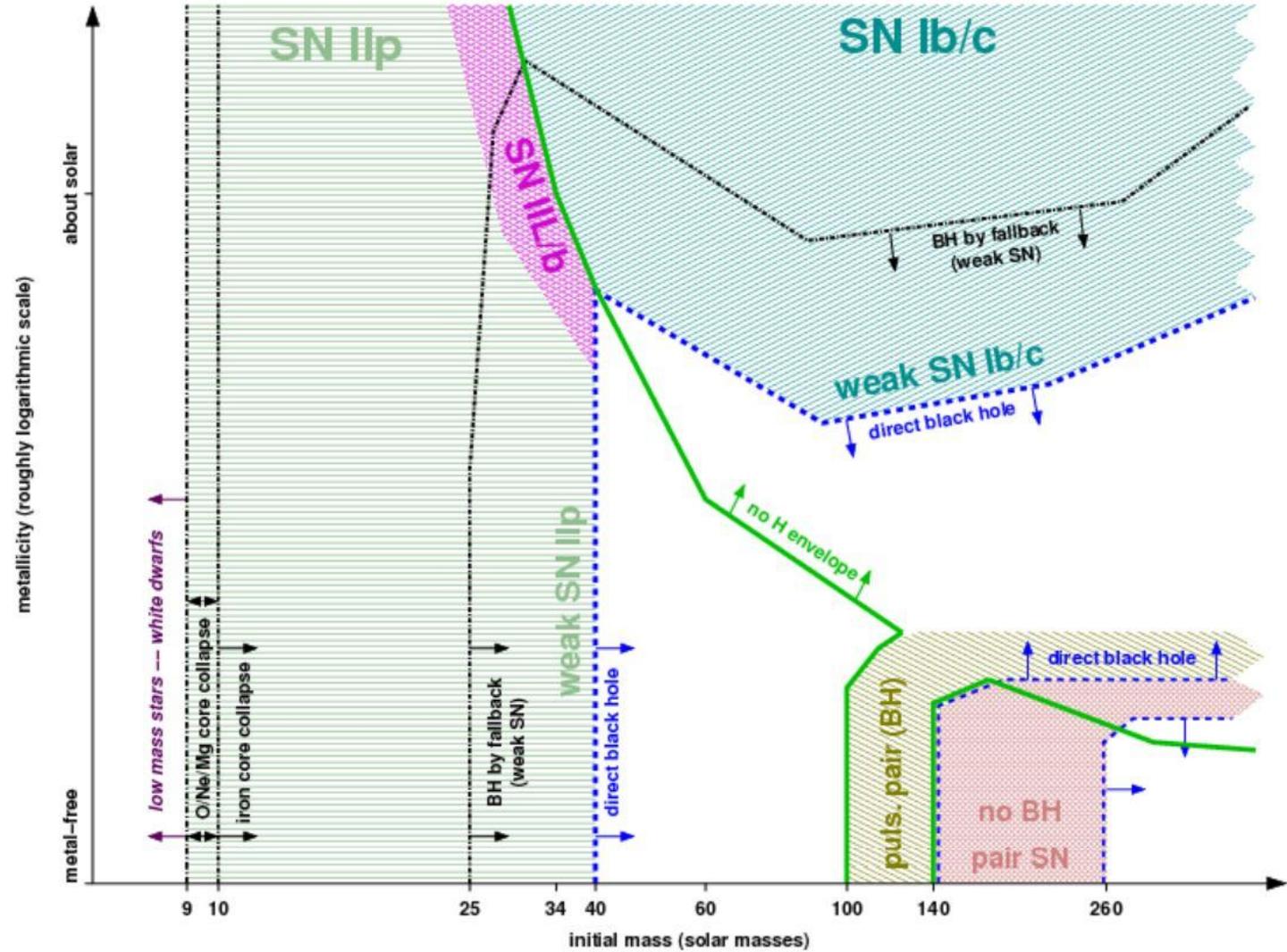
Stella di Neutroni

- Equilibrio idrostatico e densità costante in ambiente non relativistico:
raggio aumenta al diminuire della massa
- Equilibrio idrostatico e densità costante in ambiente relativistico:
massa limite di Volkov-Oppenheimer, 2.5 - 3 M_{\odot}

Esplosione di SN II



Condizione per Buchini neri



Equazione di Klein-Gordon

La prima vera equazione di Schrödinger

- $E^2 = p^2 c^2 + m^2 c^4$

- $\hat{E}^2 \psi = -\hbar^2 \frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2}$

- $\hat{p}^2 \psi = -\hbar^2 \nabla^2 \psi$



$$\frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2} = \nabla^2 \psi - \frac{m^2 c^2}{\hbar^2} \psi$$

Bibliografia e letture

- Per utenti consapevoli che vogliono approfondire l'evoluzione stellare:
«Astrofisica stellare» - Castellani
(disponibile qui: <http://astrofisica.altervista.org/doku.php>)
- Lettura divulgativa dedicata alla scoperta dei raggi cosmici ed alle successive evoluzioni fino al 2011:
«L'enigma dei Raggi Cosmici: Le più Grandi Energie dell'universo» - De Angelis, Alessandro - ed. Springer, 2011



Grazie!
Alla prossima!