



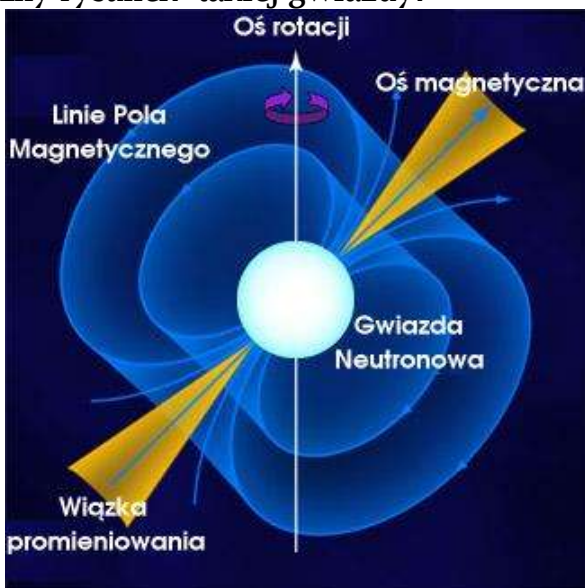
# Gęstość protonów w skorupie gwiazdy neutronowej

autor: Konrad Klimaszewski  
promotor: dr hab. Piotr Magierski



W ostatnich latach bardzo wzrosło zainteresowanie badaniami gwiazd neutronowych. Są to nieduże gwiazdy zbudowane głównie z neutronów. Można je porównać do gigantycznego jądra atomowego, które jest utrzymywane w całości przez grawitację. Są one swoistym laboratorium fizycznym gdyż to jedyne miejsce we wszechświecie, gdzie możemy badać materię o gęstościach przekraczających gęstość jądrową. Obserwacje gwiazd neutronowych pozwalają nam także poznać mechanizm wybuchu gwiazdy supernowej, którego są końcowym stadium.

Gwiazdy neutronowe bardzo szybko rotują co w połączeniu z silnymi polami magnetycznymi powoduje, że zachowują się jak latarnia morska. Emitują promieniowanie elektromagnetyczne w postaci „błysków”. Taką gwiazdę nazywamy pulsarem. Odstępy między „pulsami” są dla danego pulsara stałe i można je wyznaczyć z dokładnością porównywalną z zegarem kwarcowym. Schematyczny rysunek\* takiej gwiazdy:



Podstawowe własności gwiazd neutronowych:

- Masa:  $1,44 M_S \div 3,2 M_S$   
 $M_S$  - masa Słońca =  $1,989 \cdot 10^{33}$  g
- Promień:  $\sim 10$  km
- Częstota rotacji:  $4,6$  s  $\div$   $1,55$  ms
- Pole magnetyczne:  $10^8 \div 10^{15}$  G
- Średnia gęstość:  $\sim 10^{14}$  g/cm<sup>3</sup>
- Temperatura:  $\sim 10^6$  K
- Przyspieszenie grawitacyjne:  $\sim 10^{11}$  g  
g - przyspieszenie ziemskie =  $9,789$  m/s<sup>2</sup>

Chcąc badać ewolucję termiczną gwiazdy neutronowej musimy dokładnie poznać budowę jej skorupy. To właśnie ona warunkuje jak przebiega chłodzenie naszej gwiazdy. Na przewodność cieplną skorupy wpływ ma przede wszystkim koncentracja protonów. I jej wyznaczenie jest podstawowym celem tej pracy.

Materia gwiazdy neutronowej w skorupie składa się z protonów, neutronów oraz elektronów. Aby wyznaczyć rozkład gęstości neutronów i protonów zastosowano jądrowy funkcjonal gęstości, którego parametry dobrano tak aby odtworzyć własności znanych jąder atomowych.

Funkcjonał można przedstawić w postaci:

$$\begin{aligned} \varepsilon(\vec{r}) = & \frac{\hbar^2}{2m} \tau + B_1 \rho^2 + B_2 (\rho_n^2 + \rho_p^2) + B_3 \rho \tau + B_4 (\rho_n \tau_n + \rho_p \tau_p) \\ & - B_5 (\vec{\nabla} \rho)^2 - B_6 [(\vec{\nabla} \rho_n)^2 + (\vec{\nabla} \rho_p)^2] + \rho^\alpha [B_7 \rho^2 + B_8 (\rho_n^2 + \rho_p^2)] \\ & - B_9 [\vec{J} \cdot \vec{\nabla} \rho + \vec{J}_n \cdot \vec{\nabla} \rho_n + \vec{J}_p \cdot \vec{\nabla} \rho_p] + \varepsilon_{coul}(\vec{r}) \end{aligned}$$

Gdzie:

$\tau(\rho)$  - gęstość energii kinetycznej

$\vec{J}(\rho)$  - gęstość energii spin-orbita

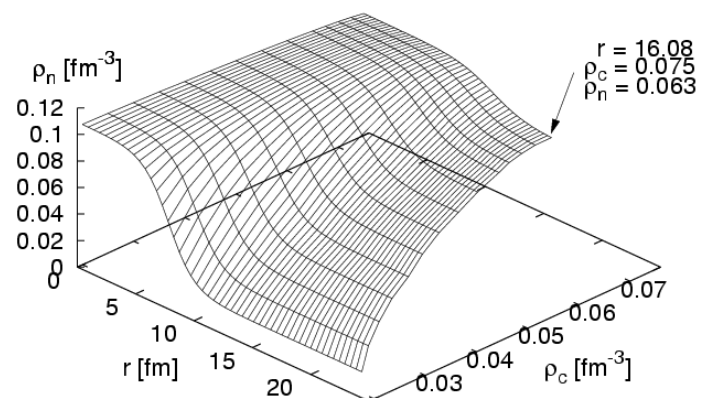
$\varepsilon(\rho)$  - gęstość energii kulombowskiej

$\rho(\vec{r}) = \rho_n(\vec{r}) + \rho_p(\vec{r})$  - gęstość materii

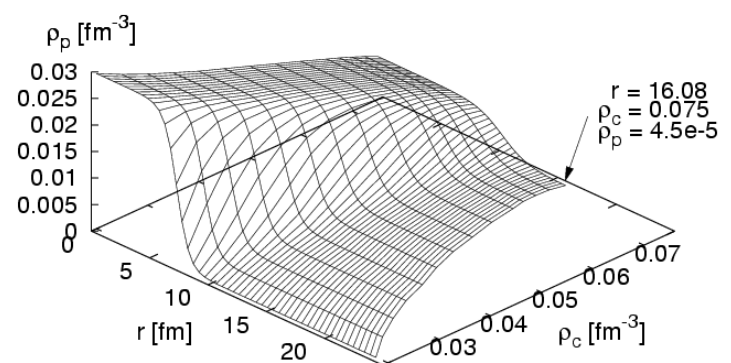
$B_i$  - współczynniki funkcjonału

Gęstości energii kinetycznej i energii spin-orbitalnej wyznaczono wykorzystując rozszerzoną metodę Thomasa-Fermiego. Poniżej przedstawione są uzyskane wyniki:

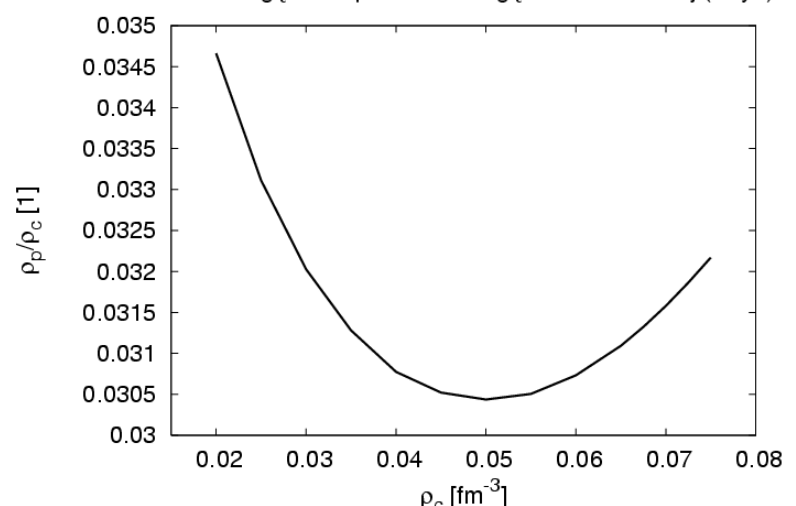
Rozkład gęstości neutronów w funkcji gęstości całkowitej



Rozkład gęstości protonów w funkcji gęstości całkowitej



Stosunek gęstości protonów do gęstości całkowitej (SLy4)



\* <http://www.drflounder.com/archives/000016.html>