

Od modeli rdzenia i skorupy gwiazd neutronowych do obserwacji pulsarów i źródeł rentgenowskich

Gwiazdy neutronowe powstają w wyniku wybuchu supernowej, końcowego etapu ewolucji gwiazd o masach 10-30 razy większych niż masa Słońca ($M_{\odot} \approx 10^{30}$ kg). Charakteryzując się masą $M \approx 1 - 2 M_{\odot}$ i promieniem jedynie $R \sim 10$ kilometrów gwiazdy neutronowe są jednymi z najgęstszych obiektów we Wszechświecie - gęstości we wnętrzu kilkukrotnie przewyższają gęstość materii w jądrach atomowych a do opisu tak zwartych i masywnych obiektów konieczne jest stosowanie ogólnej teorii względności. Warunki panujące we wnętrzu tych gwiazd są niemożliwe do odtworzenia na Ziemi - gwiazdy neutronowe są więc unikalnym "kosmicznym laboratorium" pozwalającym badać fizykę jądrową i teorię grawitacji w ekstremalnych sytuacjach. Fizycy i astrofizycy tworząc modele bardzo gęstej materii mogą, poprzez użycie ich do wyznaczania własności gwiazd neutronowych, konfrontować założenia teorii z obserwacjami astronomicznymi. W ten sposób próbują odpowiedzieć na pytania dotyczące składu takiej materii (neutrony, protony, elektrony, miony, być może bardziej egzotyczne cząstki jak hiperony czy niezwiązane w nukleony kwarki) oraz oddziaływań pomiędzy tymi składnikami.

Celem projektu jest stworzenie modeli wnętrza gwiazdy neutronowej opisujących złożoną strukturę obiektu (rdzeń, skorupa) w sposób jednorodny, w oparciu o ten sam model oddziaływań jądrowych. Założenie modelu jądrowego i jego parametry zostaną uzgodnione z pomiarami laboratoryjnymi własności jąder atomowych i materii jądrowej. Obliczone zostaną, w ramach ogólnej teorii względności, podstawowe parametry gwiazd neutronowych (masa, promień, moment bezwładności) oraz zbadana zostanie ewolucja termiczna (stygnięcie i grzanie) takich gwiazd. Projekt będzie realizowany we współpracy z międzynarodowymi grupami astrofizyków i fizyków jądrowych.

Wyniki obliczeń numerycznych porównane zostaną z obserwacjami astronomicznymi gwiazd neutronowych pozwalającymi na określenie masy i promienia oraz wyznaczenie temperatury na powierzchni. Pomiary te dokonywane są przez radiowe i rentgenowskie teleskopy - w dziedzinie obserwacji gwiazd neutronowych spodziewany jest duży postęp w najbliższych latach (teleskopy satelitarne NICER, Athena, radioteleskopy naziemne SKA, FAST). Ponadto stworzone w ramach projektu modele gęstej materii będą mogły być używane przy analizie promieniowania grawitacyjnego emitowanego przez układy podwójne zawierające gwiazdy neutronowe - potencjalnie takie obiekty mogą być zaobserwowane w niedalekiej przyszłości przez detektory fal grawitacyjnych LIGO i Virgo.

Porównanie modeli z astronomicznymi danymi obserwacyjnymi uzupełnionymi przez pomiary laboratoryjne własności jąder atomowych pozwolą nam odrzucić niektóre modele wnętrza gwiazd neutronowych, zawężając obszar naszej niewiedzy dotyczącej właściwości bardzo gęstej materii i oddziaływań jądrowych.