

Gwiazdy neutronowe to wyjątkowe laboratoria fizyki jądrowej we Wszechświecie. Te najgęstsze znane obiekty astronomiczne powstają w wyniku wybuchu supernowej, gdy masywna gwiazda wyczerpie swe paliwo jądrowe i umrze, eksplodując jak supernowa. Jądro gwiazdy może przetrwać wybuch, jednak podtrzymujące je procesy jądrowe przestają być efektywne i gwiazda zapada się. Jeśli pierwotna gwiazda była bardzo masywna (ponad 30 razy mas Słońca) jądro będzie kontynuować zapadanie do czarnej dziury. W przypadku lżejszych gwiazd możliwe jest zatrzymanie zapadania się jądra dzięki efektom kwantowym oraz odpychaniu się neutronów i protonów. Powstająca w ten sposób gwiazda neutronowa ma gęstość większą, niż gęstość materii w jądrach atomowych. Masa typowej gwiazdy neutronowej jest o 50% większa niż masa Słońca, zaś jej rozmiar to około 20 km. Wybuch i późniejsze zapadanie rdzenia masywnej gwiazdy powodują powstanie obiektu o ogromnym polu magnetycznym, przewyższającym miliard razy pole magnetyczne Słońca.

Tak ekstremalne warunki są nieosiągalne w Ziemijskich laboratoriach. Wnętrze gwiazdy neutronowej było również całkowicie niedostępne dla obserwacji astronomicznych wykorzystujących promieniowanie elektromagnetyczne. Sytuacja ta zmieniła się jednak znacząco w ostatnich latach. Obecnie stoimy na progu nowej ery związanej z możliwością obserwacji Wszechświata w falach grawitacyjnych. Fale grawitacyjne to jedna z konsekwencji ogólnej teorii względności Einsteina, która przewiduje, że gwałtowne zjawiska astrofizyczne z udziałem takich obiektów jak czarne dziury i gwiazdy neutronowe, będą powodować w czasoprzestrzeni zaburzenia, które rozchodząc się z prędkością światła spowodują na przykład zmiany w odległości mierzonej pomiędzy obiektami na Ziemi. Takie wahania odległości są bardzo niewielkie - odległość kilku kilometrów zmienia się wskutek przechodzenia fali grawitacyjnej o wielkość dużo mniejszą od rozmiaru protonu. Trzy ogromne detektory fal grawitacyjnych (dwa w USA - Advanced LIGO i jeden we Włoszech - Advanced Virgo) to interferometry zdolne mierzyć ekstremalnie małe zmiany odległości przebytej przez laserowy promień. Zmiany te są powodowane właśnie przejściem fali grawitacyjnej. Ogromnym wyzwaniem była detekcja fal grawitacyjnych z wszechobecnego (spowodowanego np. zmianami temperatury, wibracjami związanymi z ruchem drogowym itp.) otaczającego detektory szumu. Ogromnym sukcesem zespołów Virgo i LIGO (których istotną częścią jest polska grupa Polgraw) są obecnie praktycznie rutynowe detekcje sygnałów pochodzących z układów podwójnych czarnych dziur, a także pierwsza detekcja fal z układu gwiazd neutronowych. Gwiazdy neutronowe są jednym z głównych źródeł falach grawitacyjnych w paśmie czułości LIGO i Virgo.

Celem projektu jest opracowanie modeli skorupy gwiazdy neutronowej, oparte na najnowszych pomiarach eksperymentalnych własności jąder atomowych oraz bazując na teorii materii jądrowej. Wyznaczone własności skorupy będą podstawą do obliczeń promieniowania grawitacyjnego z wirujących gwiazd neutronowych. Określone zostaną reakcje zachodzące we wnętrzu skorupy gwiazd neutronowych oraz stworzone modele opisujące powstawanie odkształceń („gór”) na powierzchni gwiazd neutronowych, zaburzających pole grawitacyjne i powodujących, podczas wirowania gwiazdy, emisję fal grawitacyjnych, jak wyjątkowa, „grawitacyjna“ latarnia morska.

Modele promieniowania zostaną bezpośrednio użyte do analizy sygnału promieniowania grawitacyjnego przez grupę Virgo-Polgraw. W efekcie określone zostaną konsekwencje zaobserwowania promieniowania grawitacyjnego w wirujących gwiazd neutronowych dla struktury i własności wnętrza tych obiektów.

Projekt jest istotnym wkładem do najnowszych ekscytujących badań naukowców zajmujących się analizą obserwacji fal grawitacyjnych w Polsce i na świecie.