

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, wibracje spowodowane ruchem drogowym itp.) otaczającego detektory szumu. Ogromnym sukcesem zespołów Virgo i LIGO (których istotną częścią jest polska grupa Polgraw) była są obecnie praktycznie rutynowe detekcje sygnałów pochodzących z układów podwójnych czarnych dziur, a także pierwszej detekcji fal z układu gwiazd neutronowych. Gwiazdy neutronowe są jednym z głównych źródeł falach grawitacyjnych w paśmie czułości LIGO i Virgo.

Podczas niezwykle gwałtownego zjawiska połączenia dwóch gwiazd neutronowych temperatura może osiągnąć niemal bilion stopni (10^{12}). Celem projektu jest stworzenie modeli dysypacji energii i transportu ciepła w gwiazdach neutronowych podczas połączenia dwóch takich gwiazd i zbadanie czy powstanie w wyniku tego procesu stabilnej gwiazdy neutronowej jest możliwe.

Projekt będzie polegał na teoretycznym zbadaniu procesów transportu i dysypatywnych w ramach ogólnej teorii względności i przeprowadzeniu numerycznych symulacji struktury gwiazd neutronowych i promieniowania grawitacyjnego. Wyniki będą porównane z najnowszymi obserwacjami zjawisk emisji promieniowania grawitacyjnego, których pomiary na obecnym etapie eksperymentów LIGO-Virgo są niemal powszechne, a nowe źródła promieniowania grawitacyjnego są obserwowane z częstotliwością raz na tydzień.

Projekt będzie istotnym wkładem do najnowszych, obiecujących badań ponad tysiąca naukowców w Polsce i na całym świecie.