

Aby znaleźć jedno z najbardziej ekscytujących i egzotycznych laboratoriów fizyki jądrowej dostępnych dla naukowców, musimy spojrzeć w niebo, w szczególności na gwiazdy neutronowe. Te niewiarygodnie gęste obiekty powstają, gdy masywna gwiazda wyczerpuje swoje paliwo jądrowe i umiera, eksplodując jako supernowa. Po eksplozji pozostałość nie jest już podtrzymywana przez procesy jądrowe i zapada się. Jeśli gwiazda nie jest tak masywna, że kolapsu nie da się powstrzymać, i mamy do czynienia z powstaniem czarnej dziury (dzieje się tak, jeśli oryginalna gwiazda miała masę ponad trzydzieści razy większą niż Słońce), kolaps trwa do momentu, gdy neutrony zostaną zgniecione razem na tyle blisko, że ich kwantowe ciśnienie może zapewnić równowagę gwiazdy: powstaje Gwiazda Neutronowa. Te „martwe” gwiazdy są tak ekstremalne, że gęstość w ich wnętrzach jest większa niż gęstość jądra atomowego: mają one masę około półtora raza większą od masy Słońca ściśniętego w promieniu 10 km, czyli taką samą, jak gdyby Słońce zostało ściśnięte w przestrzeni wielkości Warszawy. Wybuch i zapadanie się pierwotnej gwiazdy doprowadziły również do powstania super silnego pola magnetycznego, ponad miliard razy silniejszego niż to, które występuje na naszym Słońcu, które może zdeformować gwiazdę i prowadzić do dobrze obserwowalnych zjawisk energetycznych. Nie jesteśmy pewni, jak fizyka działa w tak ekstremalnych warunkach, ponieważ nie mogą one odtworzone bezpośrednio w laboratoriach na Ziemi. Jesteśmy jednak na początku rewolucji w astronomii, która na zawsze zmieni nasze spojrzenie na niebo i pozwoli nam odkryć tajemnice ukryte we wnętrzach gwiazd neutronowych: narodziny astronomii fal grawitacyjnych. Gwałtowne zdarzenia astrofizyczne, w których biorą udział ekstremalne obiekty, takie jak czarne dziury i gwiazdy neutronowe, zgodnie z Ogólną Teorią Względności Einsteina, będą wytwarzać ‘fale’ w czasoprzestrzeni, które mogą propagować się do nas i powodować oscylacje odległości między obiektami. Efekt na Ziemi jest jednak niewielki: standardowa fala grawitacyjna spowodowałaby, że odległość między dwoma obiektów na odległość kilku kilometrów zmienia się o mniej niż średnica protonu. Mimo to zbudowano trzy wielokilometrowej wielkości detektory fal grawitacyjnych, dwa w Stanach Zjednoczonych, znane jako Advanced LIGO, oraz jeden we Włoszech, Advanced Virgo, które posłużyły do udowodnienia, że przewidywania Einsteina są poprawne. Są to interferometry, urządzenia, które wystrzelują światło laserowe wzdłuż dwóch ramion o długości kilku kilometrów, odbijając je lustrami i mierząc, jak długo trwa jego powrót. Jeśli fala grawitacyjna przejdzie przez instrument, to zdeformuje ramiona i doprowadzi do różnicy w czasie, jaki obie wiązki laserowe mają na przebycie swojej drogi. To prawdziwy cud techniki i inżynierii, że instrumenty są obecnie na etapie, w którym mogą skutecznie zagłuszyć wszystkie otaczające je źródła szumu (oscylacje termiczne, drgania spowodowane ruchem ulicznym itp.) i rzeczywiście mierzyć zmiany długości ramion mniejsze niż proton, aby wykryć przechodzącą falę grawitacyjną. W 2015 roku zespół LIGO i Virgo, którego istotną częścią jest polskie konsorcjum Polgraw, stworzył historię, bezpośrednio wykrywając po raz pierwszy fale grawitacyjne pochodzące od układu podwójnego czarnych dziur. W 2017 r. nastąpił kolejny przełom: wykryto sygnał fal grawitacyjnych z połączenia się układu podwójnego gwiazd neutronowych. Gwiazdy neutronowe są jednym z głównych celów dla tych detektorów. Sygnały są jednak bardzo słabe i potrzebne są modele teoretyczne, które pomogą wyodrębnić sygnał z zaszumionych danych detektora, podobnie jak możemy zrozumieć, co mówi osoba w bardzo głośnym fragmencie filmu, jeśli widzimy napisy. Czułość instrumentów osiągnęła punkt, w którym mogą one polować na sygnałów z izolowanych gwiazd neutronowych zdeformowanych przez pole magnetyczne. Połączenie tych wyników z badaniami teoretycznymi i obserwacjami elektromagnetycznymi pozwoli nam odkryć tajemnice tych gwiazd, zapowiadając rewolucję w naszym rozumieniu wszechświata, nieporównywalną z żadną inną, która miała miejsce od czasu, gdy pierwszy teleskop został wycelowany w niebo. Celem projektu jest wykorzystanie najnowocześniejszych symulacji numerycznych symulacji numerycznych do modelowania rozwoju super silnego pola magnetycznego we wnętrzu gwiazdy. Zadanie jest trudne, ponieważ ewolucja pola wywołuje turbulencje w gwieździe, podobne do turbulencji powietrza, których doświadczamy lecąc samolotem. Potrzebne są symulacje o wysokiej rozdzielczości, aby uchwycić to zachowanie. Wyniki tych badań zostaną następnie wykorzystane do teoretycznego zbadania sygnałów fal elektromagnetycznych i grawitacyjnych oczekiwanych od gwiazd neutronowych, oraz skonstruowania modeli teoretycznych zachowania się sygnałów, które pomogą w obserwacjach za pomocą teleskopów i naziemnych interferometrów.