

Streszczenie popularnonaukowe

Każda gwiazda we wszechświecie kończy swoje życie, gdy jej paliwo jądrowe zostanie wyczerpane. Pozostałością po nich są zwarte obiekty gwiazdne. Mogą to być białe karły lub gwiazdy neutronowe, znane jako pierwsza i druga rodzina gwiazd zwartych we wszechświecie. Są one przedmiotem badań niniejszego projektu. Gwiazdy neutronowe emitujące światło okresowo, nazywane są pulsarami. Ich narodziny związane są z jednym z najbardziej energetycznych wybuchów we współczesnym wszechświecie - supernowej typu kolapsu grawitacyjnego. Są one związane z wybuchami masywnych gwiazd, ponad dziesięciokrotnie cięższych od Słońca. Pozostałościami po mniej masywnych gwiazdach są białe karły. Potencjalnymi posłańcami z takich zwartych obiektów gwiazdnych są czastki elementarne poruszające się z prędkością bliską prędkości światła - neutrina. Są one licznie produkowane we wnętrzu gwiazd zwartych, co sprawia że być może będzie można je zaobserwować w obecnie już działających obserwatoriach neutrin na Ziemi.

Fascynującą fizykę gwiazd zwartych najlepiej widać przez pryzmat ich właściwości: białe karły są obiektami wielkości Ziemi, zawierającymi około 1,0–1,5 raza masy Słońca, z kolei masa gwiazd neutronowych dochodzi do dwóch mas Słońca, podczas gdy ich rozmiar odpowiada miastu średniej wielkości o średnicy około 25 km, takiemu jak Wrocław. Najbardziej ekstremalne warunki we wszechświecie od czasu Wielkiego Wybuchu występują właśnie w ich wnętrzach. Z kolei bardzo duże gęstości prowadzą do zjawiska kwantowego zwanego zwyrodnieniem. Dlatego gwiazdy zwarte są idealnymi laboratoriami fizyki jądrowej oraz astrofizyki cząstek do badania stanów skupienia gorącej i gęstej materii. Nowopowstałe gwiazdy neutronowe są szczególnie gorące. Ich temperatury jest jednymi z najwyższych we wszechświecie od Wielkiego Wybuchu. Pozwalają one badać równanie stanu. Od wielu lat prowadzone są badania nad możliwym przejściem fazowym ze zwykłej materii do egzotycznego stanu, zwanego plazmą kwarkowo-gluonową. Stan ten bada się doświadczalnie w najpotężniejszych akceleratorach cząstek kiedykolwiek zbudowanych. Uzupełnieniem tych badań są astrofizyczne symulacje gwiazd zwartych, które dostarczają informacji na temat takiego przejścia fazowego w dużych gęstościach za pomocą możliwych obserwowalnych sygnałów. W ostatnim czasie udało się to w kontekście supernowych oraz zcalania układów podwójnych gwiazd neutronowych. Jest to kamień milowy w tej dziedzinie.

W niniejszym projekcie uwaga zwrócona jest na nowy scenariusz, w którym możliwe jest wykrycie tego przejścia fazowego. Jedna trzecia do połowy wszystkich masywnych gwiazd występuje w układach podwójnych. Powiązana podwójna ewolucja najprawdopodobniej doprowadzi do transferu masy z gwiazdy ciągu głównego, w dalszym ciągu syntezującego wodór w swoim wnętrzu, do gwiazdy zwartej powstałej w wyniku wybuchu supernowej. Zostanie również zbadany wpływ kolapsu gwiazd neutronowych na obiekty metastabilne w obecności przejścia fazowego w wysokich gęstościach do plazmy kwarkowo-gluonowej. Pozostałościami po tak dynamicznych procesach są najprawdopodobniej gwiazdy hybrydowe - gwiazdy neutronowe o kwarkowym rdzeniu. Tworzą one trzecią rodzinę obiektów zwartych. Ich istnienie jest tematem wieloletnich spekulacji.

Oczekiwane wyniki projektu będą ważne dla szerokiej gamy zastosowań. Będą także niosły konsekwencje dla wielu powiązanych dziedzin. Głównymi celami są następujące dwa aspekty: (1) zbadany zostanie nie do końca jeszcze zrozumiały możliwy wpływ transferu masy na białego karła, będącego gwiazdą zwartą w układzie podwójnym, z powstaniem gwiazdy neutronowej w przypadku kompletnego kolapsu lub wybuchem supernowej typu Ia, o ile dojdzie do ucieczki termojądrowej we wnętrzu białego karła; (2) zaproponowanie obserwowalnych sygnatur w sygnale neutrin, pochodzących z przejścia fazowego do materii kwarkowej w dużych gęstościach podczas kolapsu gwiazdy neutronowej wywołanego akrecją. Zaletą neutrin jest to że, w odróżnieniu od światła, nie są emitowane bezpośrednio z wnętrza gwiazdy neutronowej. Niosą zatem informacje w innym przypadku niedostępne.

Projekt stoi na granicy nowoczesnej wysokoenergetycznej fizyki jądrowej oraz astrofizyki cząstek, ponieważ fascynujące badania gwiazd zwartych wkroczyły właśnie w nową erę, wraz z pierwszymi obserwacjami fal grawitacyjnych ze zcalenia się układu dwóch gwiazd neutronowych a także z obecnymi detektorami neutrin, będącymi w stanie zarejestrować tysiące sygnałów z kolejnego galaktycznego zdarzenia.