

Sejsmiczne ograniczenia na budowę wewnętrzną gwiazd typu widmowego A i F

Informacja o gwiazdach, jaka dociera do Ziemi, jest zawarta w strumieniu promieniowania elektromagnetycznego, który możemy rejestrować używając różnych detektorów. Ogromny postęp w astronomii instrumentalnej pozwala nam sięgać do coraz odleglejszych zakątków Wszechświata. Budujemy coraz większe teleskopy i stosujemy coraz bardziej zaawansowane techniki obserwacyjne. Jednak nawet największe teleskopy czy najbardziej wyrafinowane metody obserwacyjne nie pozwolą nam zajrzeć do wnętrza gwiazd. Jedynymi świadkami tego co się dzieje we wnętrzu gwiazd są neutrino, cząstki bardzo przenikliwe, których nie potrafimy rejestrować od innych gwiazd niż nasze Słońce.

Jedyną metodą, aby odkryć sekrety skrywane pod powierzchnią gwiazd jest *asterosejsmologia*. Ta stosunkowo młoda gałąź astrofizyki wykorzystuje pulsacje gwiazdowe; zjawisko spotykane w gwiazdach o różnych masach i na różnych etapach ewolucyjnych. Pulsacje gwiazdowe to drgania powodowane rozchodzeniem się we wnętrzach gwiazd fal akustycznych lub wypornościowych. Ich obserwacyjnym przejawem są okresowe zmiany jasności, prędkości radialnej i kształtu profili linii widmowych. Częstotliwości tych zmian są wydobywane z analizy szeregów czasowych. Każdej częstotliwości odpowiada mod pulsacji a rodzaje wzbudzanych modów są ściśle określone przez warunki panujące we wnętrzu gwiazdy. Dopasowując teoretyczne wartości częstotliwości do obserwowanych możemy uzyskać istotne ograniczenia na procesy fizyczne, które determinują budowę wewnętrzną, ewolucję i ostateczny los gwiazdy. Zatem *asterosejsmologia* jest w swojej istocie podobna do sejsmicznego badania Ziemi przez geofizyków.

W tym projekcie skupimy się na zagadnieniu „Jakiej fizyki możemy nauczyć się z oscylacji gwiazd typu δ Scuti?” Gwiazdy δ Scuti to zmienne pulsujące o masach około 1.5 – 3.0 większych od masy Słońca. Większość z nich jest w fazie ewolucji na ciągu głównym, czyli w ich jądrach zachodzi przemiana wodoru w hel, ale są też gwiazdy δ Sct, które zakończyły centralne palenie wodoru. Są to obiekty na etapie palenia wodoru w warstwie otaczającej jądro i ewoluują do czerwonych olbrzymów. Istnieją również bardzo młode gwiazdy δ Sct przed zapaleniem wodoru w jądrze.

Celem projektu jest otrzymanie ograniczeń na budowę wewnętrzną i ewolucję gwiazd typu δ Sct. W szczególności zajmiemy się procesami mieszania pierwiastków, rotacją wnętrza, podfotosferyczną konwekcją oraz danymi mikrofizyki, tj. nieprzezroczystościami gwiazdowymi. Używając opracowanej przez nas metody oszacujemy wydajność konwekcji w zewnętrznych warstwach i porównamy jak różni się od gwiazdy do gwiazdy. Znalezienie sejsmicznych poprawek do nieprzezroczystości da odpowiedź na pytanie czy takie same modyfikacje są potrzebne jak w przypadku gorętszych pulsatorów, aby wytłumaczyć wszystkie własności pulsacyjne wyznaczone z obserwacji. Nasze pierwsze wyniki pokazały, że zwiększenie nieprzezroczystości na głębokości odpowiadającej temperaturze około 120 000 K jest konieczne dla gwiazd δ Sct, w których wzbudzone są jednocześnie mody akustyczne i wypornościowe. Taki test jest istotny dla wszystkich gałęzi astrofizyki, ponieważ nieprzezroczystości determinują transport energii przez materię. Innym czynnikiem kontrolującym ewolucję jest rotacja, która zmienia budowę gwiazdy i dodatkowo miesza pierwiastki. Wszystkie rodzaje rotacyjnego mieszania są opisane przez pewne wolne parametry i uzyskanie ograniczeń na ich wartości jest bardzo ważne.

Nowatorskość projektu polega na znalezieniu sejsmicznych poprawek jednocześnie do modelu, profilu rotacyjnego i profilu nieprzezroczystości. Po raz pierwszy zostaną uzyskane modyfikacje nieprzezroczystości z sejsmicznego badania gwiazd o masach około $2 M_{\odot}$.

Wyniki naszych kompleksowych badań sejsmicznych gwiazd δ Scuti będą miały ogromne znaczenie dla lepszego zrozumienia budowy i ewolucji gwiazd oraz wprowadzeniu ulepszeń do współczesnych kodów numerycznych.