

Celem projektu jest zbadanie własności klasycznych gwiazd zmiennych: cefeid i gwiazd RR Lutni. Cefeidy są gwiazdami młodymi, olbrzymami o masach typowo kilkakrotnie większych od masy Słońca. Gwiazdy RR Lutni są natomiast obiektami starszymi i mniej masywnymi od Słońca. Gwiazdy te zmieniają swoją jasność w wyniku okresowych drgań – pulsacji. Obie grupy pełnią niezwykle ważną rolę w astrofizyce, są tak zwanymi wiecami standardowymi, służącymi do pomiaru odległości. Dynamika pulsacji tych gwiazd jest niezwykle ciekawa i jest tematem badań, które proponujemy.

Czym są pulsacje? To okresowe drgania, fale stojące w gazie. Znajdziemy wiele analogii w świecie instrumentów muzycznych. Drgają struny instrumentów strunowych, takich jak gitara czy skrzypce, drga powietrze w instrumentach dętych, drga membrana bębna. Drgania te odbieramy jako dźwięki, których częstotliwość zależy od sposobu, czyli od modu drgań. Za przykład weźmy bęben. Jeśli perkusista uderzy go dokładnie w centralnym punkcie, uderzając pałeczką pionowo, możemy obserwować drgania o symetrii rotacyjnej. W świecie gwiazd takie drgania nazywamy radialnymi. Oczywiście gwiazd nikt nie uderza. Drgania gwiazd są wynikiem działania mechanizmu przypominającego silnik cieplny. Drganie bębna o najniższej częstotliwości polega na rytmicznym, naprzemiennym wychylaniu się całej membrany w górę i w dół, jedynie brzeg bębna, miejsce zamocowania membrany, nie drga, mówimy o tym w zjęciu oscylacji. Inne drgania o symetrii rotacyjnej też są możliwe. W kolejnym modzie drgań o wyższej częstotliwości, pierwszym harmonicznym, mamy dodatkowy węzeł, okrąg wewnątrz membrany, rozdzielający jej części poruszające się w przeciwnych kierunkach. Chwilowy obraz membrany przypomina kapelusz sombrero, którego brzeg odpowiada brzegowi bębna: rondo jest obniżone w stosunku do brzegu, za główką kapelusza podwyższona. W świecie gwiazd te dwa mody drgań nazywamy fundamentalnym i pierwszym owertonowym. Jeśli perkusista uderzy w membranę bębna pod kątem, drgania nie będą miały symetrii rotacyjnej. Na powierzchni bębna mogą pojawić się wzmietki linii prostych, obok wzmietki kształtu okręgu. W gwiazdach takie drgania nazywamy nieradialnymi. Częstotliwość takich drgań określa układ i położenie wzmietki, czyli geometria modu. Membrana może drgać w wielu modach równocześnie, barwa dźwięków perkusji potrafi być bogata. Od czego jeszcze zależy częstotliwość drgań bębna? Na pewno od materiału, z którego zrobiona jest membrana: inaczej brzmi ta zrobiona ze skóry naturalnej, inaczej ta z materiału syntetycznego. Nowy bęben brzmi inaczej niż stary instrument. Podobnie jest w gwiazdach, częstotliwość drgań w danym modzie zależy od składu chemicznego gwiazdy oraz jej stopnia zaawansowania ewolucyjnego, od jej wieku.

Do niedawna wydawało się, że drgania gwiazd są proste, czysto radialne. Wśród znanych cefeid i gwiazd RR Lutni pulsowała w jednym tylko modzie radialnym, w fundamentalnym, albo w pierwszym owertonie. Zdecydowanie mniej gwiazd pulsowało w tych dwóch modach równocześnie. Dokładne i regularne obserwacje klasycznych gwiazd pulsujących, prowadzone zarówno z Ziemi jak i przy pomocy teleskopów kosmicznych, zmieniły ten prosty obraz. Odkryto wiele nowych gwiazd pulsujących równocześnie w dwóch i więcej modach. Najciekawsze odkrycie to gwiazdy pulsujące równocześnie w modzie radialnym i nieradialnym. Mod radialny zawsze dominuje, drgania w modzie nieradialnym mają mniejszą amplitudę. Obserwacje prowadzone z kosmosu pokazują, że ta forma pulsacji może być powszechna, przynajmniej w gwiazdach typu RR Lutni, w których dominują pulsacje w pierwszym owertonie. Drgania gwiazd mogą nie być czyste okresowe, częstotliwość może ulegać niewielkim, ale częstym i nieregularnym zmianom, szybszym niż spodziewamy się z tempa ewolucji (starzenia się) gwiazdy. Podobnie jak w przypadku modów nieradialnych, zmiany okresu obserwujemy częściej w gwiazdach, w których dominują pulsacje w pierwszym owertonie. Drgania gwiazd mogą być modulowane, amplituda i częstotliwość drgań zmieniają się wtedy okresowo – jest to tak zwany efekt Blauki, obserwowany niemal wyłącznie w gwiazdach RR Lutni, dużej częstotliwości w gwiazdach pulsujących w modzie fundamentalnym. Opisanych zjawisk, drgań w modach nieradialnych, szybkich zmian okresu, czy efektu Blauki, nie rozumiemy. W przypadku modów nieradialnych nie znamy ich geometrii, ani nie znamy mechanizmu, który prowadzi do ich wzbudzenia. Nie znamy przyczyn szybkich zmian okresu. Efekt Blauki pozostaje zagadką od ponad 100 lat. Nie wiemy, dlaczego gwiazdy, w których dominują drgania w pierwszym owertonie, są bardziej podatne na wzbudzenie dodatkowych modów nieradialnych czy też na szybkie zmiany okresu, w porównaniu z gwiazdami, w których dominują pulsacje w modzie fundamentalnym.

By zrozumieć opisane zjawiska i spróbować je wyjaśnić musimy najpierw dokładnie zbadać, jak własności tych zjawisk zależą od składu chemicznego gwiazd, ich wieku i historii ewolucji oraz dominującego modu drgań. Musimy też odkryć, w których gwiazdach pulsujących w modach nieradialnych – cięgle znamy ich niewiele – i sprawdzić, czy rzeczywiście ta forma drgań jest związana przede wszystkim z gwiazdami pulsującymi w pierwszym owertonie. Są to główne cele proponowanych badań. Wiedza, którą dysponujemy obecnie jest fragmentaryczna, oparta na analizie niejednorodnych obserwacji dla małych grup gwiazd. Nasz projekt to zmieni.

Swoje badania oprzemy w całości na pomiarach zmian jasności (fotometrii) klasycznych gwiazd pulsujących gromadzonych przez projekt *Optical Gravitational Lensing Experiment*, OGLE. Są to dane dla ogromnej liczby klasycznych gwiazd pulsujących, ponad stu tysięcy, znajdujących się w trzech różnych systemach gwiazdowych: w zgrubieniu centralnym naszej Galaktyki, oraz w Wielkim i Małym Obłoku Magellana. Systemy, a więc i gwiazdy, które w nich się znajdują, różnią się składem chemicznym i stopniem zaawansowania ewolucyjnego – doskonały materiał by zbadać, ale nie opisane powyżej. Doskonała jako fotometrii gwarantuje odkrycie interesujących nas efektów, szczególnie większej liczby gwiazd pulsujących w modach nieradialnych. Sprawdziliśmy to; analizując tylko niewielki procent gwiazd RR Lutni ze zgrubienia centralnego Galaktyki odkryliśmy ponad 140 nowych gwiazd pulsujących w modach nieradialnych, w tym zupełnie nową grupę tych gwiazd o charakterystycznych częstotliwościach modów nieradialnych. Obserwacje projektu OGLE trwają od wielu lat, niektóre obszary nieba obserwowane są już od ponad 20 lat. Korzystając z fotometrii OGLE, dokładnie przebadamy amplitudy drgań i ich częstotliwości, sprawdzimy, czy wielkość tych jest stała czy zmieniają się w czasie. Sprawdzimy, czy w szybkich zmianach okresu da się znaleźć jakieś prawidłowości, schematy obecne w różnych gwiazdach. Zbadamy gwiazdy, w których pulsacje są modulowane. Sprawdzimy, czy te modulacje są czyste okresowe oraz zbadamy, jak kształt krzywych blasku zmienia się podczas modulacji. Sprawdzimy, czy w tych gwiazdach tak mogą być wzbudzone dodatkowe mody pulsacji. Obecność gwiazd w trzech różnych systemach gwiazdowych pozwoli zbadać, jak ich własności zależą od składu chemicznego czy wieku gwiazd, ogólniej, od środowiska w jakim się znajdują. Korzystając z modeli pulsacyjnych, spróbujemy określić geometrię modów nieradialnych. Ta wiedza, oparta

na analizie jednorodnego, doskonałej jako ci materiału obserwacyjnego, przyczyni si do lepszego zrozumienia klasycznych gwiazd pulsuj cych. Jest niezbdna by zaproponowa dobre teoretyczne modele wyja niaj ce bogactwo obserwowanych form pulsacji.