

Rozdział 2. Gwiazdy zmienne – co, dlaczego i jak je mierzyć

Co mierzymy używając fotometrii?

Gwiazdy zmienne to gwiazdy, których jasność zmienia się w mierzalny sposób na skutek procesów zachodzących w ich wnętrzu, lub wokół nich. Istnieje wiele typów gwiazd zmiennych, a każdy z nich reprezentuje inny sposób, w jaki zachodzą zmiany jasności. Gwiazdy mogą z upływem czasu zmieniać swój rozmiar, kształt lub temperaturę (gwiazdy pulsujące), ich jasność może się gwałtownie zmieniać na skutek zachodzących w ich otoczeniu procesów fizycznych (gwiazdy wybuchowe), albo część pochodzącego od nich promieniowania może być przesłaniana przez orbitujące wokół inne składniki (gwiazdy zaćmieniowe, egzoplanety). Wspólną cechą tych zjawisk są fizyczne zmiany w samej gwiazdzie lub jej bezpośrednim sąsiedztwie. Podczas obserwacji okiem nieuzbrojonym możemy zauważyć, że gwiazdy na niebie migoczą. Jednak nie świadczy to o ich zmienności; jest to wpływ turbulencji w atmosferze ziemskiej. Źródło zmian jasności gwiazd zmiennych jest w nich samych, a nie w zjawiskach zachodzących na Ziemi lub w ziemskiej atmosferze.

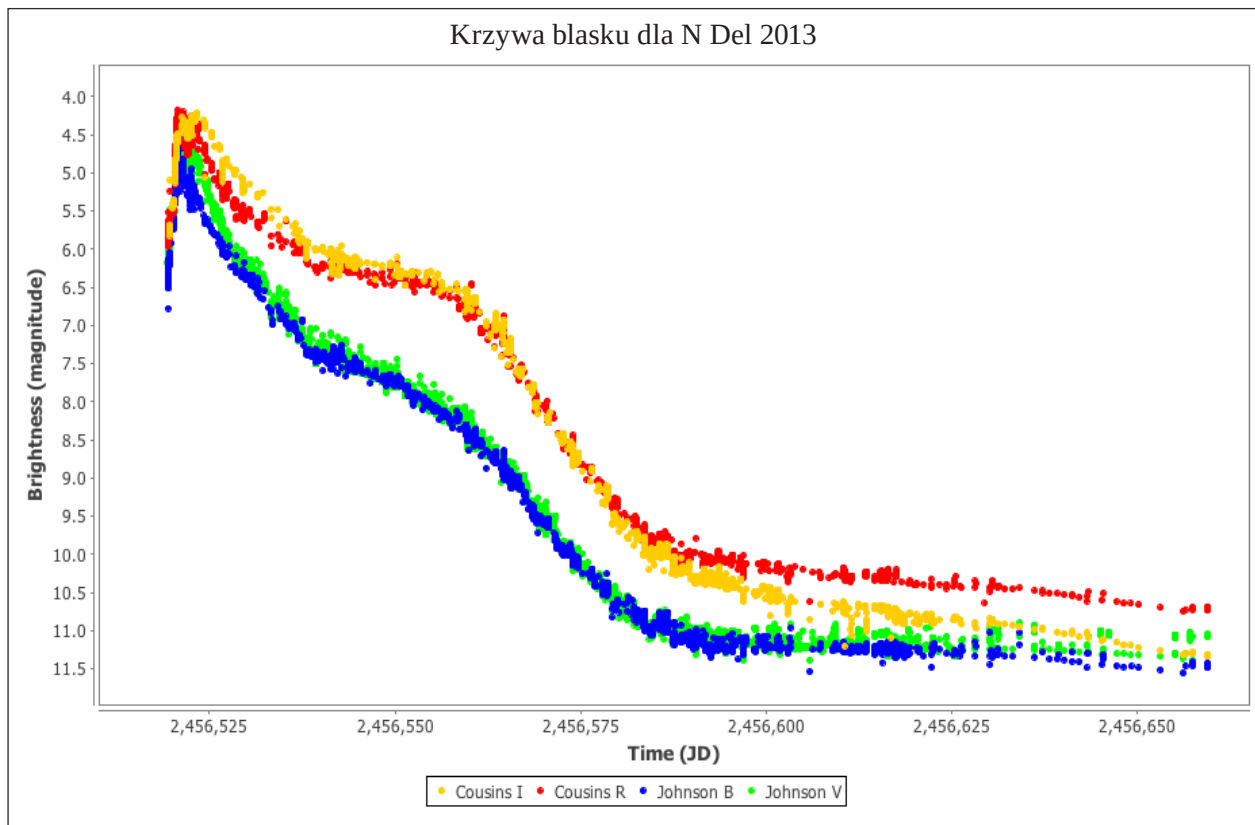
Skala czasowa, w jakiej zachodzą zmiany jasności gwiazd zmiennych jest różna dla różnych typów zmienności. W przypadku niektórych gwiazd będą to tygodnie, miesiące, a nawet lata, zanim jasność gwiazdy zmieni się w mierzalny sposób. Dla innych będą to dni, godziny, minuty, sekundy, a czasami o wiele mniej. Niektóre gwiazdy zmieniają swoją jasność regularnie i w ściśle określony sposób. Inne podlegają chaotycznym zmianom, których nie można w żaden sposób dokładnie przewidzieć. Niektóre obiekty zmieniają swoją jasność w ten sam sposób przez stulecia, podczas kiedy inne – jak supernowe – mogą nagle rozblysnąć i następnie zniknąć i nie być nigdy ponownie obserwowane.

Również jasność pozorna (czyli ta, którą obserwujemy) oraz całkowita luminancja (czyli całkowita ilość emitowanego promieniowania) zawierają się w szerokim zakresie. Gwiazda może promieniować znaczne ilości światła, ale jednocześnie być położona wiele tysięcy lat świetlnych od nas i jej jasność obserwowana będzie niewielka. Jeszcze inną cechą gwiazd zmiennych jest *amplituda* zmian jasności – czyli różnica pomiędzy jasnością gwiazdy, kiedy świeci ona najślabiej i najmocniej. Zmiany jasności niektórych gwiazd mogą osiągać dziesięć i więcej wielkości gwiazdowych, co odpowiada zmianom w luminancji ponad dziesięć tysięcy razy, to ogromna zmiana! Z drugiej strony jasność innych gwiazd może się zmieniać o jedną tysięczną wielkości gwiazdowej, albo mniej, i takich zmian nie będziesz w stanie zarejestrować. Pomiedzy tymi skrajnymi wartościami jest niezliczona ilość gwiazd zmiennych i na pewno nigdy nie zabraknie dla ciebie obiektów do badań, niezależnie od wielkości teleskopu którym dysponujesz.

Dlaczego używamy fotometrii?

Gwiazdy zmienne są interesujące z wielu powodów, ale badamy je głównie dlatego, że przypominają one laboratoria fizyczne. Nie możemy przenieść się w okolice gwiazdy zmiennej, żeby ją zbadać. Ale jeśli zrozumiemy w jaki sposób jasność takiej gwiazdy się zmienia, możemy się dowiedzieć więcej o tym w jaki sposób działa kosmos. Te same podstawowe procesy fizyczne, które mają miejsce na Ziemi – grawitacja, mechanika płynów, elektromagnetyzm, światło i ciepło, chemia i fizyka kwantowa – działają dokładnie w taki sam sposób w całym wszechświecie. Obserwując jak gwiazda zmienia się z upływem czasu, możemy się dowiedzieć dlaczego tak się dzieje. Nasze obserwacje dostarczają surowych danych pomagających badaczom zadawać właściwe pytania. Naukowcy mogą bez końca spekulować na temat różnych zjawisk i procesów, ale wszystkie hipotezy w końcu muszą zostać zweryfikowane, aby w naukowym zrozumieniu świata następował postęp. To właśnie tutaj wkraczają na scenę obserwacje i to tu jest miejsce, w którym będziesz miał największą szansę na własny udział w nauce o gwiazdach zmiennych. Jeśli dostarczysz badaczom prawidłowe i dokładne wyniki, będą oni potrafili stworzyć dokładne modele wszechświata, a nasze zrozumienie jego działania będzie lepsze i pełniejsze. Z drugiej strony, jeśli dostarczymy im wyniki złej jakości, otrzymane modele będą nieprawidłowe, co może utrudnić i powstrzymać postęp w tej dziedzinie.

Na pytanie dlaczego gwiazdy zmienne są interesujące, można też odpowiedzieć w szerszym kontekście. Gwiazdy zmienne często są w stanie pokazać nam więcej, niż tylko zachowanie gwiazdy w danym momencie. Mogą nam także dostarczyć informacji na temat okoliczności, w jakich gwiazdy powstają, jak przebiega ich ewolucja i jak giną. Zdobywanie wiedzy na temat tego czym są gwiazdy i dlaczego



Krzywa jasności gwiazdy nowej N Del 2013 (V339 Del) wyznaczona w programie VStar. Warto zwrócić uwagę w sposób w jaki zmienia się jasność całkowita, ale zmienia się także jasność względna pomiędzy obserwacjami wykonanymi w różnych pasmach na skutek różnorodnych procesów fizycznych zachodzących podczas wybuchu gwiazdy nowej.

zachowują się tak a nie inaczej, dają nam bardziej kompletny obraz wszechświata w którym żyjemy, zarówno obecnie jak i w kosmologicznej skali czasu, dostarczając informacji o wielu obiektach, począwszy od planet i gwiazd, aż po galaktyki i ich gromady.

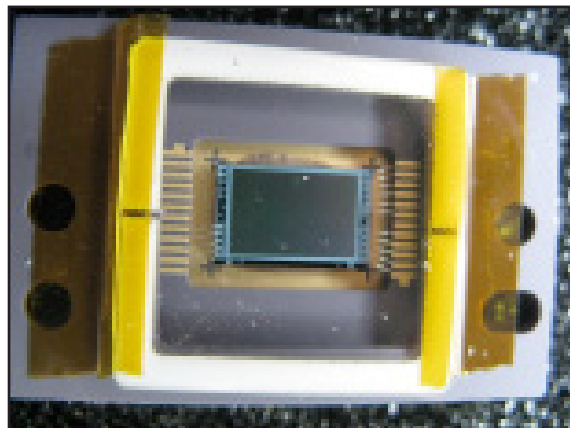
W niniejszym dokumencie będziemy się zajmowali przede wszystkim zmiennością w widzialnym zakresie widma – w zakresie rejestrowanym przez ludzkie oko – ale trzeba pamiętać, że istnieje wiele gwiazd, które zmieniają ilość wypromieniowywanej energii w zakresie od fal radiowych, aż po zakres promieniowania rentgenowskiego oraz gamma. Często gwiazdy są zmienne zarówno w widzialnym zakresie promieniowania oraz w innych przedziałach, a zazwyczaj nawet w zakresie widzialnym możemy zaobserwować różnice w zmienności gwiazdy w zależności od długości fali promieniowania. To bardzo ważna informacja, szczególnie w kontekście obserwacji CCD: często nie interesuje nas jedynie zmiana całkowitej jasności gwiazdy, ale zmiana jasności w funkcji długości fali promieniowania.

Znajomość zarówno zmiany jasności całkowitej jak i zmiany jasności w funkcji długości fali może nam pomóc w zrozumieniu zjawisk fizycznych leżących u podstaw zmienności gwiazdy, a jest to główny cel badania gwiazd zmiennych. W dalszej części przewodnika poświęcimy nieco więcej czasu na opisanie sposobów, w jakich możemy mierzyć (albo przynajmniej ocenić) właściwości widmowe obserwowanych gwiazd. Będziemy wtedy posiadali dużo pełniejszy obraz tego, w jaki sposób i dlaczego niektóre gwiazdy zmieniają jasność.

Jak dokonujemy pomiarów fotometrycznych?

Odpowiedź na to pytanie będzie stanowiła treść tego przewodnika, ale w skrócie polega to na wykorzystaniu urządzenia elektronicznego – kamery CCD – do pomiaru ilości fotonów pochodzących od gwiazdy zmiennej oraz od jednej lub większej ilości gwiazd porównania zarejestrowanych przez nasz zestaw w tym samym czasie. Razem z tymi danymi będziesz potrzebował dodatkowych danych kalibracyjnych, w celu przekształcenia twojego pomiaru w gotowy, fizyczny pomiar jasności gwiazdy w określonym momencie. Powtarzając ten pomiar raz za razem będziesz w stanie określić jak jasność gwiazdy zmienia się w czasie. Taka jest idea fotometrii, niezależnie od tego, czym wykonujemy pomiary. Poświęcimy teraz kilka chwil na wyjaśnienie tego, co dzieje się wewnątrz kamery w trakcie wykonywania ekspozycji.

Sercem kamery CCD jest wykonany z krzemu element półprzewodnikowy, który podzielony jest na pewną ilość naładowanych i odizolowanych od siebie części, które nazywamy „pikselami”. Jest to matryca CCD. Kiedy matryca wystawiona jest na działanie światła, fotony lądujące w pikselu w wyniku efektu fotoelektrycznego uwalniają elektrony. Każdy piksel i związane z nim bramki elektroniczne zachowują się jak niewielki kondensator gromadzący te elektrony w miarę ich uwalniania przez padające światło. Ładunek w każdym pikselu jest gromadzony aż do momentu, kiedy następuje odczyt matrycy przez elektronikę kamery. Podczas odczytu zgromadzony ładunek jest mierzony i daje na wyjściu sygnał analogowy w postaci napięcia, który następnie jest konwertowany w przetworniku analogowo-cyfrowym na wartość cyfrową. Dane przesyłane z kamery CCD do komputera składają się z dwóch informacji: z pozycji piksela na matrycy, oraz z cyfrowej postaci ładunku zawartego w pikselu w momencie odczytu. Z tych danych tworzony jest obraz.



Przykładowa matryca CCD (starszego typu). Obszar detektora to szary prostokąt położony w środku zdjęcia. Na jego krawędzi znajdują się połączenia, które służą do odczytywania danych z matrycy. Połączone są one z przetwornikiem analogowo-cyfrowym umieszczonym w kamerze. (dzięki uprzejmości Arne Henden)

Jedną z informacji połączonych z otrzymanym obrazem jest czas, w którym został on stworzony (zazwyczaj jest to zapisane w nagłówku pliku). Dzięki temu posiadamy większość informacji, które potrzebujemy – pomiar ilości światła w określonym czasie – do uzyskania danych fotometrycznych. Ale od momentu otwarcia migawki kamery do uzyskania końcowych wyników – czasu, wielkości magnitudo oraz błędu pomiaru – dzieli nas jeszcze kilka kroków, związanych głównie ze sposobem, w jakim nasza kamera CCD przekształca emitowane przez gwiazdę fotony o określonej długości fali w elektrony, a następnie w użyteczny sygnał. To dość długi, ale prosty proces kalibracji, który przekształca dane CCD w dane fotometryczne. Proces kalibracji związany jest z pomiarem:

- » szumu związanego z elektroniką kamery,
- » specyfiki toru optycznego zestawu, począwszy od apertury aż do matrycy CCD,
- » odpowiedzi naszego zestawu na sygnał w funkcji długości fali padającego światła, oraz...
- » ekstynkcji atmosferycznej w funkcji długości fali światła.

Każdy z tych kroków będzie w dalszych częściach podręcznika szerzej omówiony, na ten moment warto jedynie zapamiętać, że fotometria to sporo więcej, niż tylko wykonanie pojedynczej obserwacji. Zbieranie danych kalibracyjnych na potrzeby obserwacji gwiazd zmiennych w końcu stanie się dla Ciebie codziennością, ale wcześniej wyjaśnimy co i dlaczego należy robić.

Kluczową informacją, którą należy wynieść z tego rozdziału jest to, że celem fotometrii nie są dane uzyskane z matrycy CCD i oprogramowania, którego używamy. Celem fotometrii jest *wiedza*, którą można dzięki tym danym uzyskać. W celu jej uzyskania twoje wyniki muszą reprezentować coś, co ma swoje odzwierciedlenie w fizyce i muszą być prezentowane w sposób użyteczny dla innych badaczy. To nasz cel i tak go będziemy przedstawiać w tym przewodniku.

W następnym rozdziale przedstawimy podstawowe informacje na temat oprogramowania i sprzętu, który będziesz potrzebował do rozpoczęcia fotometrii CCD. Teleskopy, montaż i kamery CCD wytwarzane przez różne firmy różnią się od siebie, ale mają też wystarczająco wiele wspólnych cech, żeby można było pokazać co i jak należy robić podczas obserwacji gwiazd zmiennych. Wiele z parametrów twojego zestawu wpływa na to, jakiego typu obiekty będziesz mógł z powodzeniem obserwować. Nie będziesz w stanie uzyskać dobrej jakości danych dla każdej gwiazdy zmiennej na niebie używając tylko jednego zestawu, niezależnie od jego ceny. Ale z drugiej strony jest wiele obiektów, które mogą być obserwowane praktycznie każdego rodzaju zestawem – należy tylko przygotować się do obserwacji i wyznaczyć te obiekty *zanim* zaczniemy obserwacje.