

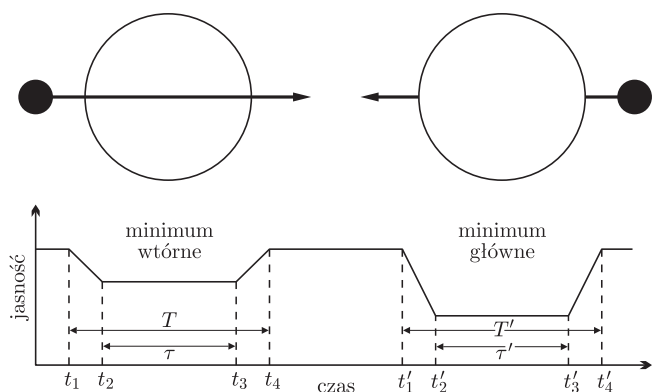
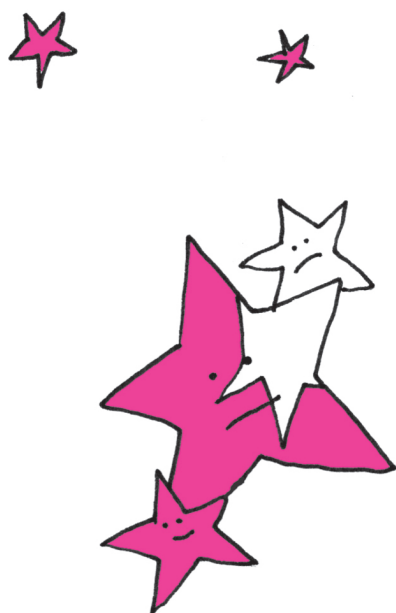
O wyjątkowych zaćmieniach gwiazd kataklizmicznych

*doktorantka, Centrum Astronomiczne im. Mikołaja Kopernika, Warszawa

Karolina BAKOWSKA*

Wielokrotnie przysłuchując się astronomom, dowiadujemy się, iż obserwacje gwiazd podwójnych zaćmieniowych są szczególnie cenne, gdyż umożliwiają wyznaczenie wielu parametrów fizycznych, takich jak masa, rozmiar, kształt, temperatura powierzchniowa składników. Pośród wielu typów gwiazd zmiennych zaćmieniowych są wyjątkowe obiekty – zaćmieniowe gwiazdy kataklizmiczne – i to o nich opowiem poniżej.

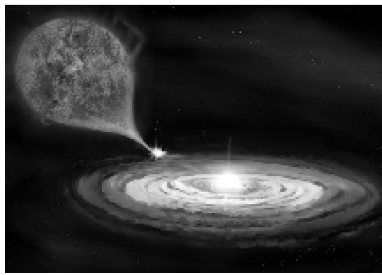
Przez wiele stuleci gwiazdy pełniły jedynie rolę punktów odniesienia na sferze niebieskiej. To właśnie względem nich badano położenia planet Układu Słonecznego. Zakładano, że gwiazdy nie zmieniają ani swojego położenia, ani jasności. Sytuacja uległa zmianie pod koniec XVI wieku. W latach 1572 i 1604 zaobserwowano dwa zupełnie nowe obiekty na niebie nazwane „Gwiazdą Tychona” i „Gwiazdą Keplera”. Obiekty te były tak jasne, że można było obserwować je nawet w ciągu dnia. Obecnie wiemy, że były to wybuchy supernowych, w których ogromne pojaśnienie wynika z gwałtownych reakcji termojądrowych zachodzących w końcowym stadium ewolucji gwiazdy. Inne odkrycie nietypowej gwiazdy nastąpiło w 1596 roku, gdy David Fabricius stwierdził, że odkrył nową gwiazdę w gwiazdozbiore Wieloryba (łac. *Cetus*). Odkrycie potwierdził Johannes Phocylides Holward w 1638 roku i wtedy gwiazda... znikła. Nazwano ją *mira stella* (cudowna gwiazda), gdyż pojawiała się na niebie bardzo kapryśnie. Dziś tę gwiazdę nazywamy *Mira Ceti*, zmienia ona swoją jasność na skutek pulsacji, czyli cyklicznej zmiany rozmiaru zachodzącej w ciągu kilkuset dni, i stanowi prototyp gwiazd zmiennych nazywanych mirydami. Kolejnymi odkrytymi obiektami, które zmieniały jasność, były gwiazdy zaćmieniowe. W 1783 roku John Goodrick zauważył zmienność gwiazdy β Persei, nazywanej także Algolem. Obiekt ten jest układem podwójnym zaćmieniowym, czyli składa się z dwóch gwiazd, które ustawione są w takim położeniu względem obserwatora z Ziemi, że jedna z gwiazd co pewien czas zasłania drugą, powodując jej zaćmienie, co z kolei wpływa na zmniejszenie obserwowanej przez nas jasności tych gwiazd. β Persei stała się prototypem gwiazd zmiennych nazywanych gwiazdami typu Algola. Gdy zaczęto prowadzić intensywne obserwacje astronomiczne, okazało się, że układy podwójne i wielokrotnie występują częściej, niż początkowo sądzono. Na 100 gwiazd położonych najbliżej Słońca jest ich aż 66. Termin określający układy podwójne jako pierwszy wprowadził Herschel w roku 1802, a obecnie układami takimi nazywamy dwie gwiazdy krążące wokół wspólnego środka masy.



Rys. 1

Układy zaćmieniowe to takie układy podwójne, których orbita ma niewielkie nachylenie w stosunku do obserwatora. Podczas zaćmienia jednego składnika przez drugi rejestrujemy spadki jasności w stosunku do otrzymanej krzywej zmian blasku. Przykładowo, gdy mniejsza i jaśniejsza gwiazda (oznaczona na rysunku 1 czarną kropką) przechodzi na tle większej i słabszej gwiazdy (lewa część rysunku), to rejestrujemy zaćmienie wtórne (zazwyczaj płytsze). W odwrotnej sytuacji obserwujemy zaćmienie główne (prawa część rysunku). Przez t_1 , t_2 , t_3 oraz t_4 oznaczono czasy czterech kontaktów między gwiazdami.

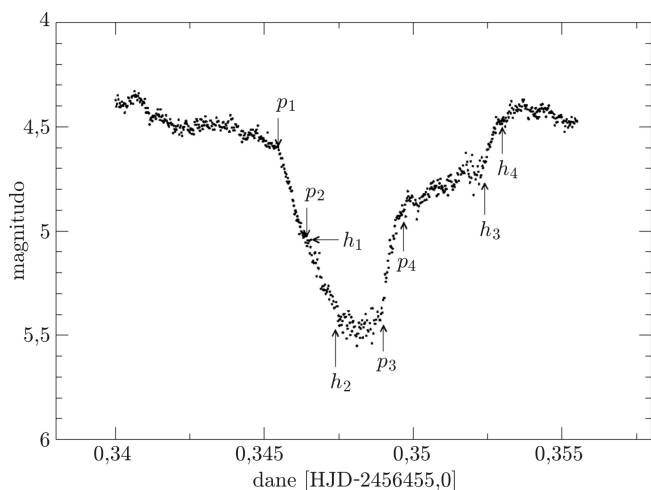
Zupełnie inne typy zaćmień prezentują gwiazdy kataklizmiczne. O obserwacjach tych gwiazd szerzej pisała Magdalena Otulakowska-Hypka w *Delcie* 12/2013. Obiekty te to nie tylko gwiazdy wdzięczne do obserwacji, ale także wyjątkowe laboratoria badawcze.



Rys. 2. Wizja artystyczna układu kataklizmicznego. Z lewej strony składnik wtórny, z którego materia splywa na dysk akrecyjny wokół składnika pierwotnego.
Rys. A.A. Czarnecka, www.optyczne.pl.

Gwiazdy kataklizmiczne to układy podwójne zawierające białego karła (nazywanego składnikiem pierwotnym) i gwiazdę ciągu głównego (określaną jako składnik wtórny), w których materia splywa ze składnika wtórnego w kierunku składnika pierwotnego, tworząc dysk akrecyjny. Miejsce uderzenia strugi materii w dysk astronomowie nazywają gorącą plamą.

Zaćmienia gwiazd kataklizmicznych okazały się dla astronomów na tyle intrygujące, iż dostarczyły materiału do badań na wiele kolejnych dziesięcioleci. Odkrycie oraz prawidłowe rozwiązanie zagadki nietypowych zaćmień gwiazd kataklizmicznych to zasługa polskich astronomów, Józefa Smaka i Wojciecha Krzemińskiego (więcej na ten temat można przeczytać w *Uranii* 01/2014, „Warszawska Nowa U Gem”). Przyjrzyjmy się zatem krzywej zmian blasku takiego układu, przedstawionej na rysunku 3. Widać, że zaćmienie ma skomplikowaną budowę i przebiega w kilku etapach.



Rys. 3. Krzywa zmian blasku gwiazdy kataklizmicznej zaćmieniowej. Dane pochodzą z teleskopu SALT (o średnicy zwierciadła ponad 10 metrów) znajdującego się w Republice Południowej Afryki, do którego mają dostęp polscy astronomowie. Projekt obserwacji tej gwiazdy został zrealizowany przez Arkadiusza Olecha.

Dzieje się tak dlatego, że zaćmiewany jest również biały karzeł (momenty jego zaćmienia oznaczono odpowiednio p_1-p_4). Ponadto zaćmiewana przez składnik wtórny jest także gorąca plama, wnosząca znaczącą wartość do jasności całego układu, a jej momenty zaćmienia oznaczone zostały h_1-h_4 . Widać zatem, iż najpierw zaćmiewany jest biały karzeł, następnie chowa się plama. Wyjście z zaćmienia przebiega przeciwnie – najpierw wyłania się karzeł, potem plama. Sprawę komplikuje fakt, że nie zawsze biały karzeł w ogóle jest zaćmiewany. Czasem astronomowie obserwują zaćmienie układu kataklizmicznego, które jest wynikiem przesłaniania dysku i gorącej plamy przez składnik wtórny, natomiast składnik główny układu nie jest zaćmiewany w ogóle!

Wiemy już, że obserwowane krzywe zmian blasku zaćmieniowych układów kataklizmicznych są skomplikowane. Najważniejsze wydaje się, że są one złożeniem krzywej blasku pochodzącej od dysku akrecyjnego oraz krzywej związanej z jasnością gorącej plamy.

Metoda dekompozycji krzywych zmian blasku zaproponowana przez Smaka pozwala rozdzielić te krzywe. Dzięki takiej analizie astronomowie mogą osobno analizować zestawy danych dotyczące gorącej plamy oraz te dotyczące dysku.

Założenia, na których opiera się metoda dekompozycji, to, po pierwsze, symetria krzywej blasku dysku w okolicach punktu $\phi = 0$, czyli w środku zaćmienia; po drugie fakt, że zaćmienie gorącej plamy jest całkowite. Kolejne kroki to odejmowanie stron zaćmienia od siebie nawzajem względem ustalonego wcześniej środka zaćmienia. Właśnie z takiej procedury odejmowania udaje nam się wyłonić krzywą zmian blasku gorącej plamy. A jak to wygląda w praktyce?

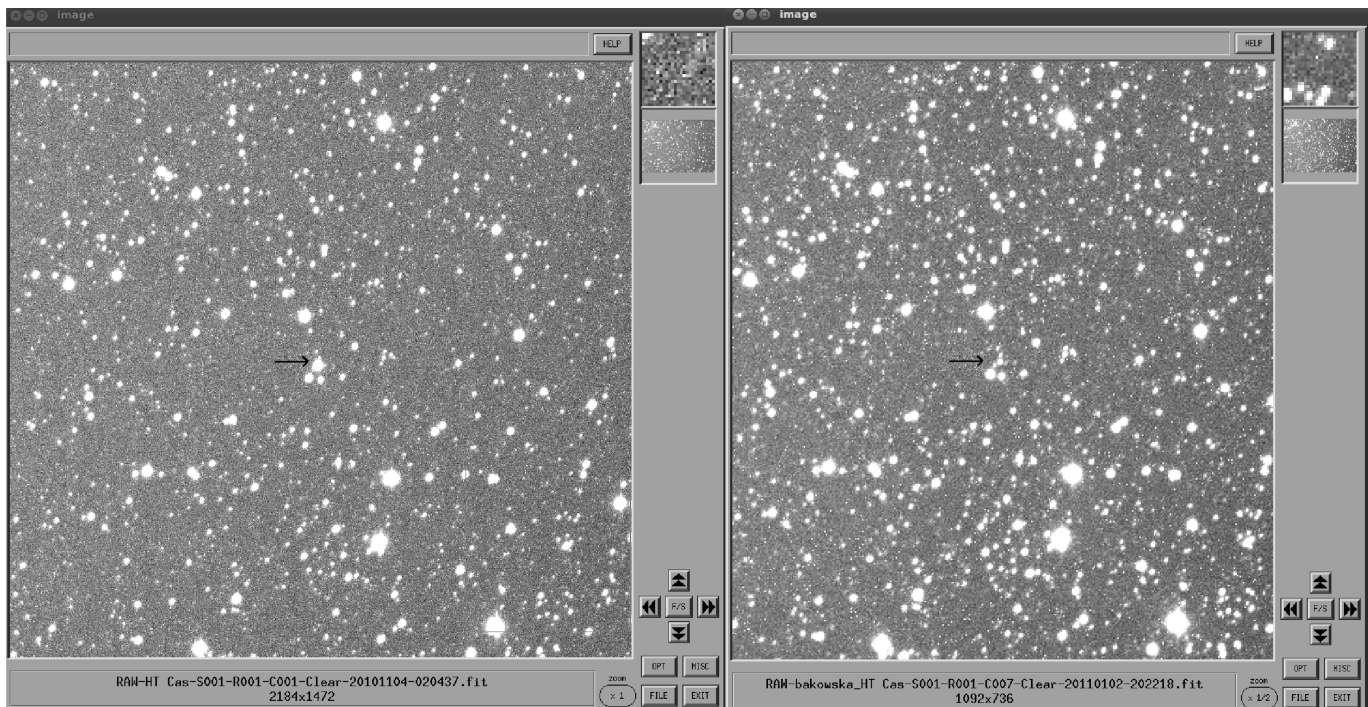


Rys. 4. Gwiazdozbiór Kasjopei z zaznaczonym kółeczkiem obiektem HT *Cas*.

Weźmy „żywe” dane obserwacyjne i dla nich zrealizujemy dekompozycję. Gwiazdą, która idealnie nadaje się do tego celu, jest HT *Cassiopeiae* (w skrócie HT *Cas*) – zaćmieniowa gwiazda kataklizmiczna z grupy nowych karłowatych. Obiekt ten odkryty został przez Hoffmeistera ponad 70 lat temu i przez ponad trzy dekady nikt się nim nie interesował. Przełom nastąpił w 1978 roku, kiedy odkryto zaćmienia, a pierwsze obserwacje dały tak owocne rezultaty, iż o HT *Cas* od tamtej pory astronomowie mówią, iż jest „kamieniem z Rosetty pośród nowych karłowatych”. Rysunek 4 pozwala odnaleźć położenie HT *Cas* na niebie, jednak ponieważ gwiazda ta w ciszy ma jasność około 18 magnitudo, więc do jej obserwacji potrzebny jest teleskop.

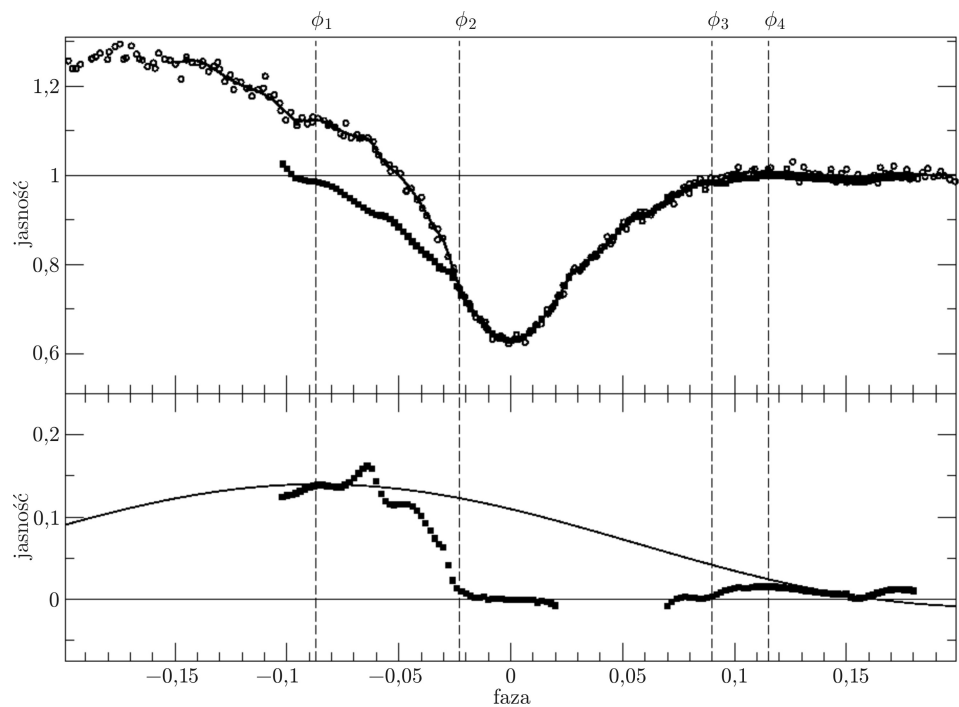
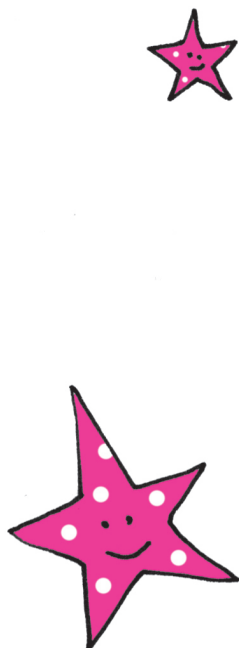
Niemniej jednak, HT *Cas* zaskoczyła astronomów superwybuchem w listopadzie 2010 roku. Jej jasność osiągnęła wtedy poziom doskonały do obserwacji małymi

teleskopami rzędu 15 centymetrów. Prawa strona rysunku 5 przedstawia HT *Cas* w trakcie ciszy, lewa – w trakcie superwybuchu.



Rys. 5. Obserwacje wykonano zdalnie (przez Internet) z wykorzystaniem teleskopu ze zwierciadłem o średnicy 25 cm (Nowy Meksyk, USA).

Mamy zatem zgromadzone dane obserwacyjne i po ich standardowej redukcji i fotometrii, dzięki której mamy względne jasności naszego obiektu przedstawione w postaci krzywych zmian blasku, możemy przystąpić do dekompozycji.

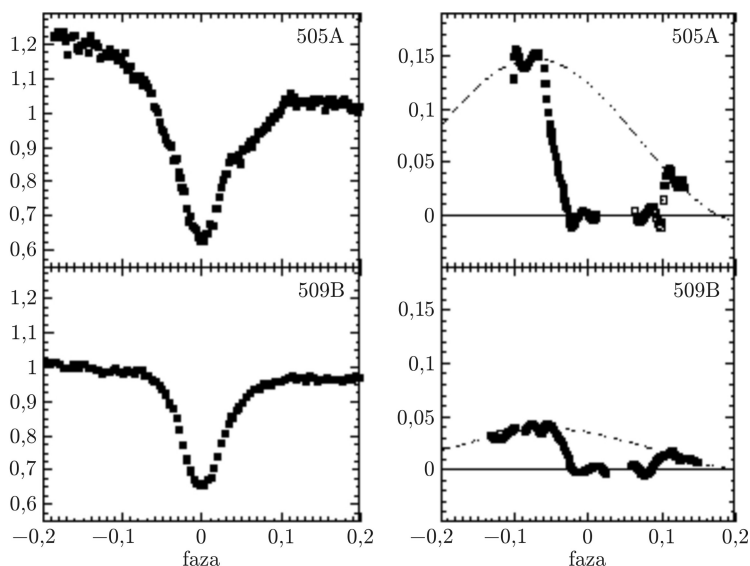


Rys. 6

Przyjrzyjmy się zatem zaćmieniu przedstawionemu na rysunku 6, gdzie na górnym rysunku widzimy przedstawione otwartymi kółeczkami dane obserwacyjne jednego z zaćmień HT *Cas*. Do tych danych dopasowano, możliwie jak najdokładniej, krzywą syntetyczną (przedstawioną jako ciągła czarna linia), gdyż na takich danych łatwiej wykonuje się potem kolejne kroki dekompozycji. Na dole przedstawiona jest już wynikowa krzywa jasności gorącej plamy, gdzie widać zarówno początek zaćmienia (fazy ϕ_1 i ϕ_2), jak i wyjście z zaćmienia



(fazy ϕ_3 oraz ϕ_4). Natomiast jeśli od krzywej obserwacyjnej odejmiemy krzywą z plamą, to otrzymujemy zaćmienie pozostałej części dysku akrecyjnego, co przedstawiono na górnej części rysunku za pomocą czarnych kwadraczków.



Rys. 7

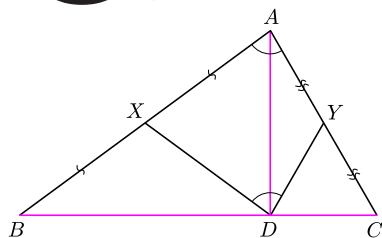
Analizując rysunek 7, widzimy po lewej dwa różne zaćmienia HT *Cas*, a po prawej stronie odpowiadające im zrekonstruowane krzywe gorącej plamy. Od razu widać znaczące wahania jasności plamy. Czasem jej manifestacja jest bardzo wyraźna, czasem plamy praktycznie nie ma. Czemu ten fakt okazał się tak ważny dla astronomów? Otóż model TTI (*thermal-tidal instability model*) wyjaśniający obserwowane w krzywych zmian blasku cykliczne zmiany jasności, nazywane przez astronomów wybuchami i superwybuchami, zakładał stały przepływ materii ze składnika wtórnego na powierzchnię dysku, zatem gorąca plama powinna mieć stałą jasność. Analiza z wykorzystaniem metody dekompozycji krzywych pokazuje, iż tak nie jest. Jest to bardzo ważny dla astronomów wynik, zmuszający ich do wyteźonej pracy nad modelami gwiazd kataklizmicznych.

Jeśli ponadto weźmiemy pod uwagę, iż zgromadzone dla HT *Cas* tak ważne i cenne dane pochodziły z małych, amatorskich teleskopów o średnicach 15–25 centymetrów, to widzimy, jak wielką rolę w wyjaśnianiu zagadek dotyczących gwiazd mają wszelkie, nawet najbardziej amatorskie obserwacje wykonane bardzo małymi instrumentami!



Zadania

Redaguje Tomasz TKOCZ



M 1438. W trójkącie ABC zachodzi $AB \neq AC$. Punkty X i Y są odpowiednio środkami boków AB i AC . Na boku BC dany jest taki punkt D różny od środka boku, że $\sphericalangle XDY = \sphericalangle XAY$. Wykazać, że AD i BC są prostopadłe.

Rozwiązanie na str. 4

M 1439. Niech f będzie wielomianem stopnia 2 o całkowitych współczynnikach. Wiadomo, że $f(k)$ jest podzielne przez 5 dla każdej liczby całkowitej k . Udowodnić, że wówczas każdy współczynnik f jest podzielny przez 5.

Rozwiązanie na str. 2

M 1440. Ile jest takich macierzy $m \times n$ o wyrazach 0, 1, że w każdym wierszu i w każdej kolumnie jest parzysta liczba jedynek?

Rozwiązanie na str. 3

Przygotował Michał NAWROCKI

F 867. Otwarte akwarium w kształcie półsfery o średnicy 30 cm wypełniono całkowicie wodą i umieszczono w pokoju, w którym nie ma prądów powietrza. Przez dwie doby poziom wody w akwarium obniżył się o 1 centymetr. Przyjmując, że temperatura i wilgotność powietrza w pokoju są stałe, a proces parowania jest na tyle powolny, że temperatura wody nie ulega zmianie, znaleźć czas, po którym woda całkowicie wyparuje z akwarium.

Rozwiązanie na str. 5

F 868. W stałej odległości od nienaładowanej metalowej kuli umieszczono dodatkowo naładowaną cząstkę. Gdy naładowano kulę dodatnim ładunkiem q , okazało się, że cząstka i kula przyciągają się z siłą F_1 , gdy naładowano kulę ładunkiem $2q$ – cząstka i kula przyciągają się z siłą F_2 . Jak duża będzie siła działająca pomiędzy cząstką i kulą, gdy ta ostatnia zostanie naładowana ładunkiem $3q$?

Rozwiązanie na str. 3

