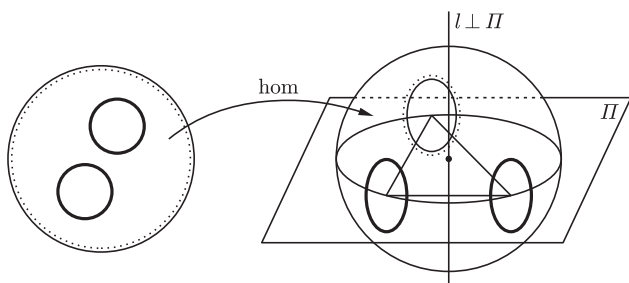


Rys. 5



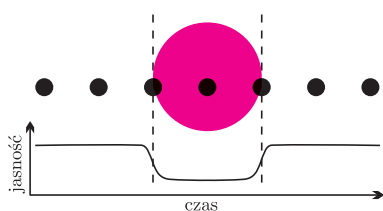
Rys. 6

Rozwiązanie zadania 3. Oznaczmy przez O środek koła D_n . Jeżeli $n \geq 3$, to za sprawą przekształcenia homeomorficznego możemy przyjąć, że dziury są kołami tej samej wielkości, środek jednego z nich pokrywa się ze środkiem koła D_n , a środki pozostałych $(n - 1)$ kół (= dziur) rozmieszczone są symetrycznie względem punktu O lub są wierzchołkami $(n - 1)$ -kąta foremnego (rys. 5). Obrót figury D_n wokół punktu O o kąt $\frac{2\pi}{n-1}$ przekształca w sposób ciągły figurę D_n na siebie i przemieszcza każdy punkt figury D_n .

Gdy dziury są dwie, możemy postąpić inaczej. Figurę D_2 nadajemy kształt sfery (rys. 6) z trzema kolistymi dziurami tej samej wielkości, których środki znajdują się na równiku i leżą w wierzchołkach trójkąta równobocznego (ponownie korzystamy z przekształceń homeomorficznych). Tak otrzymana powierzchnia jest symetryczna względem płaszczyzny równika Π . Złożenie symetrii względem płaszczyzny Π z obrotem sfery o kąt $\frac{2\pi}{3}$ wokół osi $l \perp \Pi$ i przechodzącej przez środek sfery przekształca figurę D_2 na siebie, przemieszczając jej każdy punkt.

Odkryj własną egzoplanetę

Jakub BOCHIŃSKI*



Rys. 1. Podczas zaćmienia dysk planety zasłania część gwiazdy, co powoduje czasowe zmniejszenie jasności gwiazdy.

Jedną z pierwszych odkrytych planet pozasłonecznych, 51 Pegasi b, znaleziono w 1995 roku przez Michaela Mayora i Didier Queloz'a z Obserwatorium Genewskiego, okazała się gazowym gigantem o temperaturze powierzchniowej ponad dwukrotnie wyższej niż na jakiegokolwiek planecie w Układzie Słonecznym (ponad 1500 K), obiegającym podobną do Słońca gwiazdę 51 Pegasi w ciągu zaledwie 4 dni. W późniejszych latach znaleziono więcej tego rodzaju planet i ukuto dla nich wspólną kategorię „gorących Jowiszów”.

Zaćmienia Słońca towarzyszą nam od zarania dziejów. Już w czwartym wieku przed naszą erą chiński astronom Shi Shen zauważył, że da się powiązać je z pozycją Księżyca na niebie i tym sposobem przewidywać tego rodzaju wydarzenia. W dzisiejszych czasach zaćmienia odległych gwiazd pomagają astronomom w poszukiwaniu i badaniach ciał niebieskich poza Układem Słonecznym.

W trakcie zaćmienia dysk planety (lub innego ciała niebieskiego) zasłania część macierzystej gwiazdy, zmniejszając czasowo jej obserwowaną jasność. Jako że większość ciał niebieskich krąży po stałych orbitach, zaćmienia te powinny być obserwowalne w stałych odstępach czasowych. Oczywiście, żeby zaćmienie w ogóle mogło mieć miejsce, gwiazda macierzysta, orbita poszukiwanej planety i nasza Ziemia muszą znajdować się w jednej płaszczyźnie. Szanse na taką konfigurację są niskie (około 10% dla większości gorących Jowiszów i mniej niż 1% dla planety takiej jak Ziemia), więc naukowcy szukający egzoplanet metodą zaćmieniową obserwują tysiące gwiazd jednocześnie, by zwiększyć szansę dokonania odkrycia.

Dotychczas metoda zaćmieniowa przyczyniła się do odkrycia ponad 300 egzoplanet. Większość odkryć została dokonana przez zaledwie dwie grupy naukowców: jedna związana jest z amerykańską sondą kosmiczną Kepler, a druga z europejskim konsorcjum uniwersytetów SuperWASP. Obie grupy starają się obserwować możliwie dużą liczbę gwiazd jednocześnie, choć wykorzystują do tego zupełnie różne techniki. Kepler koncentruje się na jednym fragmencie nieba, obserwując 150 tysięcy gwiazd wzdłuż galaktycznego Ramienia Oriona (w którym leży też nasze Słońce), aż do odległości około 3000 lat świetlnych od Ziemi. SuperWASP zbiera dane, korzystając z szesnastu małych teleskopów umiejscowionych w dwóch grupach na północnej i południowej półkuli Ziemi. Obie grupy teleskopów, pracując wspólnie, są w stanie sfotografować całe nocne niebo w ciągu zaledwie siedmiu minut, obserwując setki tysięcy jasnych gwiazd do odległości około 1000 lat świetlnych. W żargonie astronomicznym pierwsza grupa naukowców szuka planet „wąsko i głęboko” a druga „szeroko i płytko”.

*doktorant w grupie egzoplanetarnej, Open University w Milton Keynes, Wielka Brytania



Rozwiązanie zadania M 1413.

Odpowiedź: Nie!

Zauważmy najpierw, że punkt $v = \frac{1}{2}(v_1 + \dots + v_n)$ jest środkiem symetrii zbioru $F = F(v_1, \dots, v_n)$. Istotnie, symetria S_v o środku v przeprowadza wektor x na $2v - x$. Dla dowolnego $x \in F$ w postaci $x = \lambda_1 x_1 + \dots + \lambda_n x_n$ mamy

$$S_v(x) = 2v - x = (1 - \lambda_1)v_1 + \dots + (1 - \lambda_n)v_n \in F.$$

Przypuśćmy, że dla pewnych wektorów v_1, \dots, v_n zbiór $F(v_1, \dots, v_n)$ to ośmiościan foremny \mathcal{A} i że n jest najmniejsze możliwe (oczywiście $n > 2$). Zauważmy, że wtedy $F(v_1, \dots, v_{n-1})$ jest ścianą \mathcal{A} , czyli trójkątem równobocznym, który nie ma środka symetrii – sprzeczność.

Kilka innych przykładów pożytku amatorskich obserwacji dla rozwoju nauki podała Bożena Czerny w *Delcie* 9/2012.

Informacji dotyczących większości odkrytych dotychczasowo planet zaćmieniowych wygodnie szukać na stronie Exoplanets Transit Database (ETD) Czeskiego Towarzystwa Astronomicznego (<http://var2.astro.cz/ETD>).



Planety zaćmieniowe są niezwykle interesujące z punktu widzenia astronomii, gdyż pozwalają nam poznać zarówno swoją masę, jak i rozmiar, a więc również gęstość. Znając ten parametr, naukowcy zajmujący się modelowaniem wnętrza egzoplanet potrafią rozróżnić planety gazowe, skalne i lodowe, dając nam wgląd pod skorupy światów oddalonych o setki lat świetlnych. Co jeszcze ciekawsze, część światła wyemitowanego przez gwiazdę macierzystą jest w trakcie zaćmienia „filtrowana” przez atmosferę obserwowanej planety i w efekcie niesie w sobie informację na temat jej składu chemicznego. Odkrycie dużej ilości tlenu w atmosferze egzoplanety o odpowiedniej temperaturze mogłoby wskazywać na istnienie życia na jej powierzchni, przybliżając nas do odpowiedzi na odwieczne pytanie: czy jesteśmy sami we Wszechświecie?

Choć niewielu z nas zdaje sobie z tego sprawę, obserwowanie planet metodą zaćmieniową nie jest wcale bardzo trudne. Studenci astronomii nierzadko zajmują się tym samodzielnie w ramach ćwiczeń już na pierwszym lub drugim roku studiów. Wystarczy mały teleskop na zrobotyzowanym montażu z aparatem podłączonym do komputera i parę godzin czystego nocnego nieba. Poszukiwania można prowadzić nawet z dużego miasta. Trzy lata temu grupa studentów nauk przyrodniczych i pasjonatów astronomii dokonała pierwszej obserwacji zaćmienia planety HD80606b z wykorzystaniem teleskopu o średnicy zaledwie 35 cm z obserwatorium w Londynie! Podobnym wyposażeniem dysponuje większość amatorskich klubów astronomicznych w Polsce i na świecie. Poniżej opisuję, krok po kroku, w jaki sposób rozpocząć przygodę z obserwowaniem egzoplanet metodą zaćmieniową. Kto wie, może i Ty, drogi Czytelniku, przyczynisz się do odkrycia kolejnego nowego świata gdzieś na rubieżach naszej Galaktyki. . .

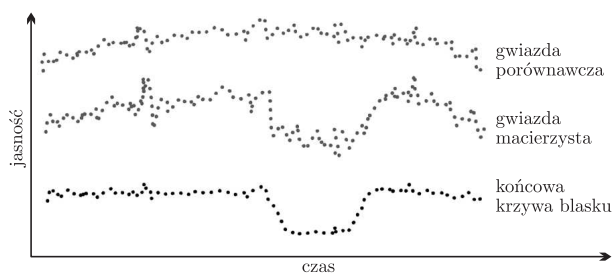
Krok 1. Przygotowanie sprzętu. Do obserwacji egzoplanet będą potrzebne: teleskop, najlepiej o średnicy przynajmniej 20 cm, montaż teleskopowy z silnikiem kompensującym ruch wirowy Ziemi, detektor CCD podłączony do komputera oraz parę godzin czystego nocnego nieba. Część z wymienionego powyżej sprzętu może być poza zasięgiem niektórych amatorów astronomii, za to na pewno w posiadaniu jednego z lokalnych klubów astronomicznych.

Krok 2. Planowanie obserwacji. Naszą przygodę z egzoplanetami najlepiej rozpocząć od obserwacji tych już odkrytych, których efemerydy (czasy) przyszłych zaćmień oraz ich przewidywane długości i głębokości można znaleźć opublikowane w ogólnie dostępnych bazach danych. Im głębsze zaćmienie i jaśniejsza gwiazda, tym łatwiejsze obserwacje. Dobrym celem na start, wybieranym często przez początkujących, jest doskonale widoczna z Polski gwiazda HD189733, której głębokie zaćmienie da się zaobserwować nawet parę razy na tydzień (w zależności od pory roku).

W trakcie przygotowywania obserwacji warto zwrócić uwagę na kilka podstawowych spraw. Pierwszą z nich jest pozycja obiektu na niebie w noc obserwacji. Czy nie jest zbyt nisko nad horyzontem i czy Księżyc lub inne jasne ciała niebieskie nie znajdują się zbyt blisko (potencjalnie prowadząc do prześwietlonych zdjęć)? Ważna jest też jasność obserwowanej gwiazdy. Czy nie jest zbyt jasna dla naszego teleskopu? Lub przeciwnie, zbyt mało jasna? Czy (co byłoby wskazane) w okolicy znajdują się inne gwiazdy o podobnej jasności? Wreszcie, istotną sprawą jest czas trwania zaćmienia. Czy noc jest wystarczająco długa, by dokonać obserwacji całego zaćmienia? O której godzinie należy rozpocząć i zakończyć obserwacje?

W udzieleniu odpowiedzi na większość powyższych pytań pomoc może darmowy program *Stellarium*, wyświetlający realistycznie wyglądającą mapę nieba, wraz ze szczegółowymi informacjami na temat większości gwiazd widocznych przez małe teleskopy.

Krok 3. Obserwacje. To akurat najprostsza część całego procesu. Wystarczy skierować teleskop na właściwą gwiazdę, ustalić optymalny czas naświetlania i rozpocząć fotografowanie. W zależności od sprzętu jedna noc obserwacji powinna prowadzić do uzyskania między 30 a 100 zdjęć tej samej gwiazdy.

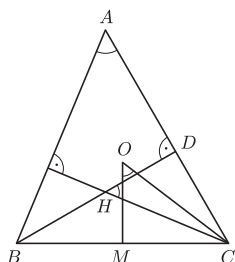


Rys. 2. Krzywą blasku obserwowanej gwiazdy zmiennej można wyznaczyć, porównując jej jasność z jasnością znajdującą się w pobliżu gwiazdy odniesienia.

Istnieje wiele programów komputerowych pozwalających na analizę danych pod kątem fotometrii wizualnej. Dwa najbardziej polecane to płatny *Maxim DL* i bezpłatny *Aperture Photometry Tool*. Ten ostatni dostępny jest pod adresem <http://www.aperturephotometry.org/>.



Rozwiązanie zadania M 1411. Niech M będzie środkiem boku BC , a D – spodkiem wysokości z wierzchołka B .



Ponieważ O jest środkiem okręgu opisanego, więc kąt CMO jest prosty oraz $\sphericalangle COM = \frac{1}{2} \sphericalangle COB = \sphericalangle CAB$ (kąt środkowy i wpisany). Oczywiście $\sphericalangle CAB = \sphericalangle DHC$, więc trójkąty COM i CHD są podobne. Trójkąt CBD jest połową trójkąta równobocznego, mamy więc $CD = \frac{1}{2} BC = CM$. Stąd trójkąty COM i CHD są przystające, a dokładniej jeden jest obrazem drugiego w symetrii względem dwusiecznej kąta C , co daje tezę.

Krok 4. Analiza danych. Planeta zaćmieniowa ujawnia swoją obecność przez czasowe obniżenie jasności gwiazdy przez nią zasłanianej. Poszukiwanie owej egzoplanety trzeba więc rozpocząć od wyrysowania wykresu zmian jasności obserwowanej gwiazdy macierzystej w czasie (tzw. krzywej blasku). Dane potrzebne do nakreślenia takiej krzywej zbiera się, mierząc ilość fotonów zarejestrowanych przez detektor CCD dla dwóch obiektów: gwiazdy macierzystej oraz jednej stałej gwiazdy porównawczej. Zmierzone jasności porównuje się, korzystając z techniki zwanej fotometrią porównawczą.

Obydwa ciała niebieskie zmieniają jasności w podobny sposób. Następuje to w wyniku zmian atmosferycznych, przemieszczania się chmur, i tym podobnych efektów związanych z umiejscowieniem teleskopu na powierzchni Ziemi. Jednakże po odjęciu zmierzonego natężenia światła zarejestrowanego dla obydwu obiektów, wszystkie takie efekty powinny zniknąć, a pozostała krzywa blasku winna zawierać już tylko faktyczną, spowodowaną zaćmieniem, utratę jasności gwiazdy macierzystej.

Krok 5. Interpretacja wyników. Docieramy do najbardziej interesującego fragmentu całego procesu. Po uzyskaniu krzywej blasku gwiazdy macierzystej, która wyraźnie wskazuje na obecność orbitującego dookoła niej innego ciała niebieskiego, pora przyjrzeć się samej planecie. Wykres jasności obserwowanego zaćmienia zawiera informacje na temat rozmiaru planety i jej orbity, pozwalając na wyobrażenie sobie, jak wygląda ten niedostępny ludzkim oczom odległy system słoneczny.

Wspomniane parametry planetarne wydobywa się z zebranych danych, dopasowując do nich skomplikowany model astrofizyczny. Dostosowując się do potrzeb amatorów astronomii, Czeskie Towarzystwo Astronomiczne zamieściło na wcześniej wspomnianej stronie ETD formularz, który pozwala na dopasowanie modelu do swoich danych za pomocą zwykłej przeglądarki internetowej. Co więcej, narzędzie to umożliwi również publikację swoich obserwacji w bazie danych ETD oraz automatyczne porównanie ich do wyników uzyskanych w innych obserwatoriach, tak amatorskich, jak i profesjonalnych. Korzystając z dużej ilości danych zbieranych przez amatorów z całego świata, Towarzystwo ma nadzieję przyczynić się do odkryć kolejnych egzoplanet oraz pomóc w zrozumieniu mechanizmów ich powstawania.

Wszystkim łowcom egzoplanet autor życzy owocnych obserwacji, postara się także odpowiedzieć na ewentualne pytania lub rozwiązać wątpliwości przesłane na adres Jakub.Bochinski@open.ac.uk.

* * *

Od Redakcji

Istnienie planet poza Układem Słonecznym jest potwierdzone obserwacjami od 25 lat. Pierwsze egzoplanety znajdowano w najdziwniejszych miejscach, o czym świadczy odkryty w 1992 r. za pomocą obserwacji radioteleskopowych przez A. Wolszczana i współpracowników układ planeta-pulsar. Postęp technologiczny, a zwłaszcza upowszechnienie się techniki CCD, która zastąpiła kliszę fotograficzną, i stabilny wzrost mocy obliczeniowej potrzebnej do obróbki danych, umożliwił powstanie projektów dedykowanych maszynowym przeglądom nieba. Dla przykładu, polski projekt OGLE na początku lat 90. prowadził regularny przegląd około miliona gwiazd – obecnie OGLE IV monitoruje w czasie rzeczywistym miliardy gwiazd. Na efekty nie trzeba było długo czekać – zadziałał efekt śniegowej kuli. Pierwsze odkrycia były na tyle interesujące, że wkrótce zaczęto budować poświęcone odkrywaniu planet teleskopy kosmiczne, takie jak Kepler. Niebagatelny wpływ ma również stała współpraca naukowców z amatorami astronomii, którzy pomagają analizować dane obserwacyjne, współuczestnicząc w odkryciach (planethunters.org). Obecnie znamy ponad 1000 egzoplanet, w większości odkrytych za pomocą analizy krzywych prędkości radialnych (spektroskopowo) oraz opisanej w artykule analizy zaćmień (tranzyt).

M. B.