

(T1) **Prawda czy Fałsz**

Oceń czy podane poniżej twierdzenia są prawdziwe czy fałszywe. Na Sumarycznej Karcie odpowiedzi dla każdego stwierdzenia zaznacz właściwą odpowiedź: TRUE (prawda) lub FALSE (fałsz). Swoich odpowiedzi nie musisz uzasadniać.

- (T1.1) Na nocnej fotografii wykonanej w czasie pełni Księżyca o wystarczająco długim czasie ekspozycji kolor czystego nieba jest niebieski taki jak za dnia. 2
- (T1.2) Pewien astronom z Bhubaneswaru przez cały rok wyznaczał codziennie pozycję Słońca na niebie o godzinie 5:00 UT. Gdyby oś obrotu Ziemi była prostopadła do płaszczyzny jej orbity, wyznaczone pozycje ułożyły by się w łuk będący w przybliżeniu fragmentem koła wielkiego. 2
- (T1.3) Ponieważ okres orbitalny pewnego drobnego ciała Układu Słonecznego, orbitującego w płaszczyźnie ekliptyki, jest mniejszy niż okres orbitalny Urana, więc orbita tego ciała musi koniecznie w całości mieścić się we wnętrzu orbity Urana. 2
- (T1.4) Środek masy Układu Słonecznego przez cały czas znajduje się pod powierzchnią Słońca. 2
- (T1.5) Foton porusza się w pustej przestrzeni. Na skutek ekspansji wszechświata jego pęd maleje. 2

(T2) **Gazy na Tytanie**

10

Prędkość molekuł gazu w atmosferze planet może przyjmować dowolną wartość z szerokiego zakresu. Jeśli prędkość przeciętnej cząsteczki jest większa od 1/6 prędkości ucieczki większość gazu ucieknie po pewnym czasie z planety. Jaka jest minimalna masa atomowa cząsteczek A_{\min} w gazie jednoatomowym aby atmosfera Tytana była stabilna?

Dane, masa Tytana $M_T = 1.23 \times 10^{23}$ kg, promień Tytana $R_T = 2575$ km, temperatura gazu na powierzchni Tytana $T_T = 93.7$ K.

(T3) **Wczesny Wszechświat**

Według modeli kosmologicznych gęstość energii promieniowania we Wszechświecie ρ_r jest proporcjonalna do $(1+z)^{-4}$ a gęstość energii materii ρ_m jest proporcjonalna do $(1+z)^3$ gdzie z oznacza przesunięcie ku czerwoni. Bezwymiarowy parametr gęstości Ω zdefiniowany jako $\Omega = \rho/\rho_c$ gdzie ρ_c jest krytyczną gęstością energii dla Wszechświata. W obecnej chwili parametr gęstości odpowiadający promieniowaniu oraz materii wynoszą odpowiednio $\Omega_{r0} = 10^{-4}$ oraz $\Omega_{m0} = 0.3$

- (T3.1) Oblicz przesunięcie ku czerwieni z_e , dla którego gęstości energii promieniowania oraz materii były równe. 3
- (T3.2) Zakładając, że rozkład promieniowania z młodego Wszechświata jest taki jak widmo ciała doskonale czarnego o temperaturze 2.732 K wyznacz temperaturę T_e tego promieniowania dla przesunięcia z_e . 4
- (T3.3) Oszacuj przeciętą energię fotonu E_ν (w jednostkach eV) wyemitowanego na przesunięciu z_e . 3

(T4) **Cienie**

10

Pewien obserwator znajdujący się na północnej półkuli Ziemi mierzył w ciągu całej doby długość cienia pionowego pręta o wysokości 1.0 metra. Najmniejsza długość wynosiła 1.732m, tego samego dnia największa długość cienia tego samego pręta wynosiła 5.671m.

Wyznacz szerokość geograficzną obserwatora ϕ oraz deklinację Słońca δ_{\odot} w dniu obserwacji. Przyjmij, że Słońce jest punktem oraz pomiń refrakcję atmosferyczną.

(T5) **Tranzyt przez pole widzenia GMRT**

10

Giant Metrewave Radio Telescope (GMRT), jest jednym z największych na świecie radioteleskopów pracujących na falach metrowych. Znajduje się on w zachodnich Indiach (szerokość $\phi = 19^{\circ}6' N$, długość: $74^{\circ}3' E$) i składa się z 30 anten 45m średnicy. Jedna z anten została ustawiona na punkt leżący w odległości zenitalnej $39^{\circ}42'$ na północnej części południka niebieskiego i unieruchomiona, tak by punktowe źródło przechodzące przez południk przesuwało się dokładnie po średnicy pola widzenia tej anteny (czyli przez tak zwaną wiązkę anteny). Jak długo trwało przejście źródła T_{Transit} przez wiązkę anteny, jeśli obserwacje prowadzono na częstotści 200 MHz.

Podpowiedź: Rozmiar wiązki (pełna szerokość wiązki w połowie maksymalnej czułości FWHM) radioteleskopu na danej częstotści odpowiada zdolności rozdzielczej teleskopu. Przyjmij, że sygnał źródła jest stały w czasie tranzytu.

(T6) **Pulsacje Cefeid**

Gwiazda β -Doradus jest cefeidą o okresie zmienności równym 9.84 dnia. Załóżmy, że gwiazda jest najjaśniejsza gdy jest najmniejsza (promień R_1) oraz jej jasność jest najmniejsza gdy jest największa (promień R_2). Dla uproszczenia załóż także, że gwiazda ta w ciągu wszystkich etapów zmienności zachowuje dokładnie sferyczny kształt i może być traktowana jako ciało doskonale czarne. Bolometryczna wielkość gwiazdowa zmienia się w granicach od 3.46 do 4.08 magnitudo. Z pomiarów dopplerowskich wiemy, że podczas pulsacji powierzchnia gwiazdy rozszerza się lub kurczy ze średnią prędkością równą $12.8 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$.

W trakcie jednego okresu pulsacji długość fali na którą przypada maksimum promieniowa termicznej gwiazdy zmienia się w granicach od 531.0 nm do 649.1 nm.

(T6.1) Wyznacz stosunek promieni gwiazdy najbardziej skurczonej do najbardziej rozszerzonej R_1/R_2 .

7

(T6.2) Wyznacz (w metrach) promień gwiazdy najbardziej skurczonej i najmocniej rozszerzonej (R_1 oraz R_2)

3

(T6.3) Oblicz strumień gwiazdy R_2 w fazie największego rozszerzenia.

5

(T6.4) Znajdź odległość gwiazdy D_{star} w parsekach.

5

(T7) **Optyka teleskopu**

Rozważmy idealną lunetę której światłosiła wynosi $f/5$, długość ogniskowa obiektywu wynosi 100cm, a ogniskowa okularu wynosi 1cm.

(T7.1) Ile wynosi kątowne powiększenie lunety m_0 ? Jaka jest jej długość, rozumiana przez odległość pomiędzy obiektywem a okulem? 4

Aby zwiększyć powiększenie instrumentu obserwacyjnego bez znacznego wpływu na jego długość stosuje się soczewki wklęsłe (soczewki Barlowa) umieszczane pomiędzy obiektywem a ogniskiem pierwotnym. Soczewka Barlowa o ogniskowej wynoszącej 1 cm została umieszczona pomiędzy obiektywem a okulem rozważanej lunety aby podwoić jej powiększenie.

(T7.2) W jakiej odległości d_B od ogniska głównego musi znaleźć się opisana wyżej soczewka Barlowa aby uzyskać wymagane powiększenie? 6

(T7.3) O ile wzrośnie długość lunety ΔL ? 4

W ognisku głównym rozważanej lunety umieszczono teraz kamerę CCD (pozbywając się okularu i soczewki Barlowa). Rozmiar każdego piksela kamery CCD wynosi $10\mu\text{m}$.

(T7.4) Jaka będzie odległość na matrycy CCD wyrażona w ilości pikseli n_p , pomiędzy środkami obrazów dwu gwiazd oddalonych na niebie o $20''$. 6

(T8) **Fotometria w paśmie U**

Obserwowana wielkość gwiazdowa w paśmie U gwiazdy wynosi $m_U = 15.0$ magnitudo. Załóżmy, że filtr pasma U jest idealny, to znaczy, ma idealną (100%) przepuszczalność w danym paśmie i jest całkowicie nieprzepuszczalny (0% przepuszczalności) poza pasmem. Środek pasma filtra przypada na długość fali równą 360 nm, a szerokość pasma wynosi 80 nm. Przyjmij również, że gwiazda ma płaskie widmo energetyczne (w funkcji częstotliwości). Konwersja pomiędzy wielkością gwiazdową wyrażoną w magnitudach m w dowolnym paśmie, a gęstością strumienia wyrażoną w jednostkach Jansky ($1 \text{ Jy} = 1 \cdot 10^{-26} \text{ WHz}^{-1} \text{ m}^{-2}$) przedstawia się następująco:

$$f = 3631 \cdot 10^{-0.4m} \text{ Jy}$$

(T8.1) Podaj ilość fotonów N_0 w paśmie U, padających prostopadle na 1m^2 powierzchni górnych warstw ziemskiej atmosfery w ciągu każdej sekundy. 8

Gwiazda została zaobserwowana w paśmie U przy użyciu naziemnego teleskopu, którego zwierciadło ma średnicę równą 2.0m. Ekstynkcja atmosferyczna w paśmie U w trakcie obserwacji wynosiła 50%. Załóż również, że scyntyllacje atmosferyczne (seeing) są mniejsze niż efekty dyfrakcyjne na teleskopie. Średnia jasność powierzchniowa tła nieba w paśmie U wynosiła 22.0 mag/arcsec².

(T8.2) Ile wynosi stosunek R ilości fotonów odbieranych w ciągu każdej sekundy z gwiazdy do tych docierających z tła nieba, gdy pomiarów dokonujemy przy użyciu okrągłej apertury o średnicy 2"?

(T8.3) W praktyce tylko 20% z fotonów w paśmie U docierających do zwierciadła zostaje zarejestrowanych. Oblicz ilość fotonów N_t docierających z gwiazdy, które są rejestrowane w ciągu jednej sekundy.

(T9) Misja Orbitera Marsjańskiego

Indyjska misja Mars Orbiter Mission (MOM) została wystrzelona przy użyciu Polar Satellite Launch Vehicle (PSLV) 5 listopada 2013. Masa statku MOM (kadłub oraz instrumenty) wynosiła 500 kg zaś zabrane paliwo miało masę 852 kg. Statek został początkowo umieszczony na eliptycznej orbicie okołozemskiej której wysokość perygeum wynosiła 264.1 km zaś wysokość apogeum wyniosła 23903.6 km ponad powierzchnią Ziemi. Po sześciu okrążeniach, orbita MOM została zmieniona na trans-Marsjańską (orbitę Hohmann).

Pierwsza taka zmiana orbity została przeprowadzona poprzez odpalenie głównego silnika na bardzo krótki czas w pobliżu perygeum. Silnik został odpalony w taki sposób aby nie zmienić płaszczyzny orbity ani jej perygeum. Dało to satelicie impuls o wartości $1.73 \cdot 10^5 \text{ kg}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$. Pomiń zmiany masy spowodowane spalaniem paliwa.

(T9.1) Jaka jest wysokość nowego apogeum ponad powierzchnią Ziemi, po tym manewrze?

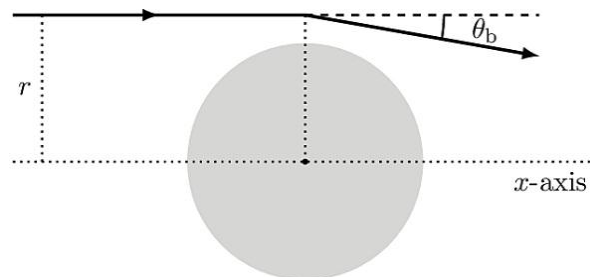
(T9.2) Znajdź mimośród e nowej orbity po manewrze odpalenia silnika oraz nowy okres orbitalny P satelity MOM wyrażony w godzinach.

(T10) Teleskop z soczewką grawitacyjną

Ogólna teoria względności Einsteina przewiduje ugięcie światła w pobliżu masywnych obiektów. Dla uproszczenia zakładamy, że ugięcie światła następuje w jednym punkcie każdego z promieni świetlnych, tak jak przedstawiono na rysunku. Kąt ugięcia światła θ_b wyraża się wzorem:

$$\theta_b = 2 \frac{R_{sch}}{r}$$

gdzie R_{Sch} to promień Schwarzschilda związany z grawitującym ciałem, zaś r nazywane parametrem zderzenia, to odległość przybywającego promienia światła od równoległej do niego osi x przechodzącej przez środek masy.



W związku z tym efektem masywne ciało zachowuje się jak soczewka skupiająca. Promienie świetlne przybywające z nieskończonej odległości poza masywnym ciałem, mające ten sam parametr zderzenia r zbiegają się w punkcie na osi x , który znajduje się w odległości f_r od centrum masywnego ciała. Obserwator w tym punkcie zyska bardzo duże wzmocnienie dzięki skupieniu grawitacyjnemu. Masywne ciało, w tym sensie, zostało użyte jako teleskop z soczewką grawitacyjną powiększający odległe sygnały.

(T10.1) Rozważ użycie Słońca jako soczewki grawitacyjnej. Oblicz najmniejszą odległość f_{min} od środka Słońca (wyrażoną w jednostkach astronomicznych (au)), w której promienie światła mogą się skupić. 6

(T10.2) Rozważ mały okrągły detektor o promieniu a znajdujący się w odległości f_{min} na osi x , który jest prostopadły do tej osi. Zauważ, że promienie przechodzące przez mały pierścień o szerokości h (gdzie $h \ll R_{Sun}$) wokół Słońca trafią w detektor. Parametr wzmocnienia na detektorze jest zdefiniowany jako stosunek natężenia światła docierającego do detektora w obecności Słońca do natężenia w przypadku braku Słońca. Wyraż parametr wzmocnienia A_m na detektorze za pomocą wielkości: R_{Sun} oraz a . 8

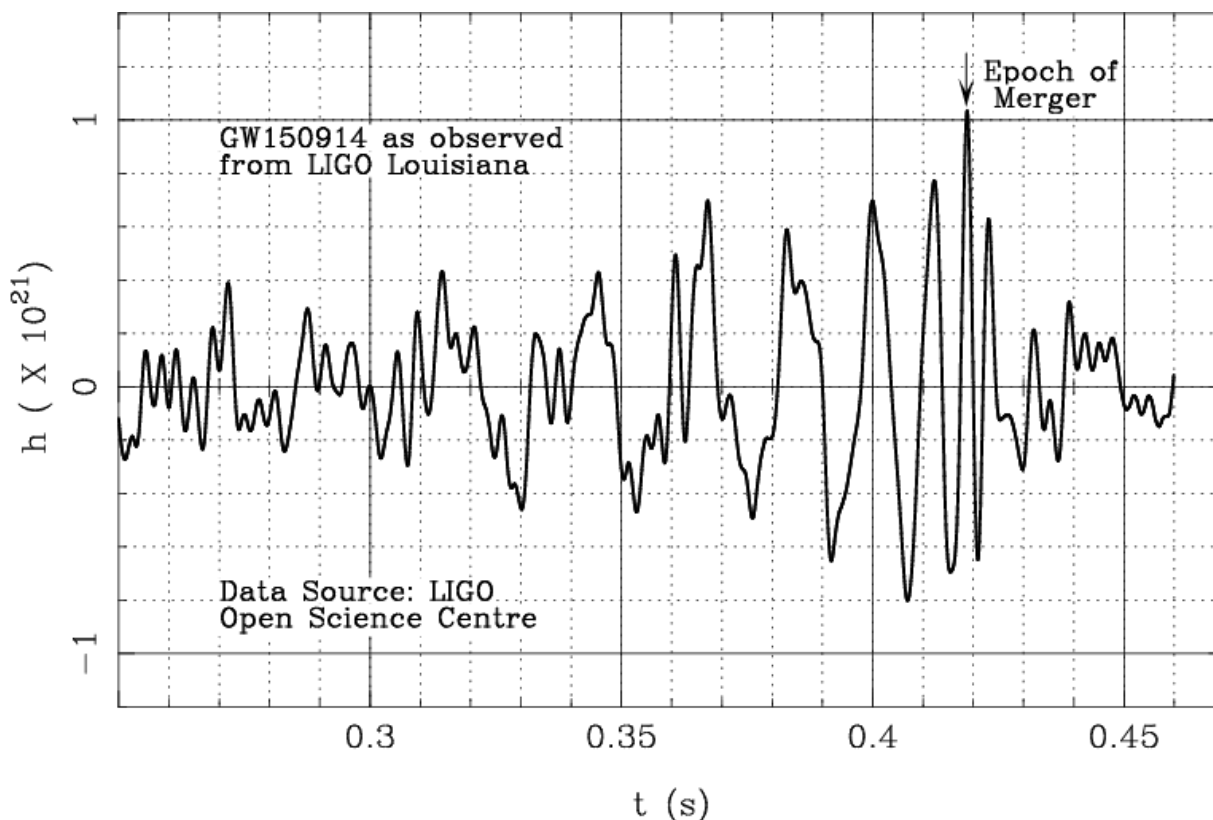
(T10.3) Rozważ masę o rozkładzie sferycznym, taką jak ciemna materia w gromadzie galaktyk, przez którą mogą przechodzić promienie światła, ulegając równocześnie soczewkowaniu grawitacyjnemu. Załóż dla uproszczenia, że dla soczewkowania grawitacyjnego z parametrem zderzenia r tylko masa $M(r)$ zawarta w kuli o promieniu r ma znaczenie. Jaki powinien być rozkład masy $M(r)$ aby soczewka grawitacyjna działała jak idealna, optyczna soczewka skupiająca? 6

(T11) **Fale Grawitacyjne**

Pierwszy sygnał na falach grawitacyjnych został zaobserwowany we wrześniu 2015 przez dwa zaawansowane detektory LIGO zlokalizowane w Hanford oraz w Livingston (USA). Zapis jednego z pomiarów przedstawiono na wykresie odkształcenia ramienia detektora w funkcji czasu.

W tym zadaniu należy zinterpretować sygnał jako pochodzący od małej masy próbnej m orbitującej po kołowej orbicie wokół wielkiej masy centralnej M ($m \ll M$) i testować kilka hipotez co do natury obiektu centralnego.

Próbna masa traci energię w skutek emisji fal grawitacyjnych w skutek czego orbita masy testowej zacieśnia się aż do osiągnięcia powierzchni gwiazdy centralnej lub w przypadku czarnych dziur do osiągnięcia orbity marginalnie stabilnej (ISCO). Promień tej orbity jest 3 razy większy od promienia Schwarzschilda dla czarnej dziury ($R_{ISCO} = 3 R_{Sch}$).



Jest to początek tzw epoki zlewania się (ang. *Epoch of merger*) co zaznaczono na rysunku. W tym momencie amplituda i częstość fal grawitacyjnych osiągają maksimum, przy czym częstość fal grawitacyjnych jest zawsze 2 razy większa od częstości orbitalnej. Niniejsze zadanie dotyczy okresu przed epoką zlewania się dla którego można stosować prawa Keplera. Po zlaniu się mas kształt fal grawitacyjnych gwałtownie się zmienia.

- (T11.1) Na podstawie wykresu wyznacz okres T_o oraz częstość f_o fal grawitacyjnych tuż przed epoką zlewania się 3
- (T11.2) Dla gwiazd ciągu głównego można przyjąć następującą zależność ich promienia R_{MS} od masy M_{MS} , 10
- $$R_{MS} \propto (M_{MS})^\alpha$$
- gdzie $\alpha = 0.8$ dla $M_\odot < M_{MS}$
 $\alpha = 1.0$ dla $0.08M_\odot \leq M_{MS} \leq M_\odot$
- Jeśli przyjąć, że centralna masa jest gwiazdą ciągu głównego podaj wzór na maksymalną częstość fal grawitacyjnych f_{MS} w zależności od masy gwiazdy podanej w masach słońca oraz od α
- (T11.3) Korzystając z poprzedniego punktu oszacuj dla jakiej wartości α otrzyma się maksymalne możliwą częstość fal grawitacyjnych $f_{MS,Max}$ dla dowolnej gwiazdy ciągu głównego. Oszacuj tę częstość 9
- (T11.4) Maksymalna masa białego karła wynosi $1.44 M_\odot$ (tzw. limit Chandrasekhara) a relację masa-promień opisuje wzór: $R \sim M^{-1/3}$. Promień białego karła o masie słońca wynosi 6000 km. Znajdź największą częstość emisji fal grawitacyjnych $f_{WD,Max}$ jeśli ciałem centralnym byłby taki biały karzeł 8
- (T11.5) Gwiazdy neutronowe to szczególne obiekty o masach $1-3 M_\odot$ i promieniach od 10 do 15 km. Określ zakres częstości $f_{NS,Min}$ oraz $f_{NS,Max}$ gdyby masa próbna poruszała się po orbicie o promieniu równym promieniowi gwiazdy neutronowej. 8
- (T11.6) Podaj wzór na częstość fal grawitacyjnych f_{BH} , jeśli masa próbna orbituje wokół czarnej dziury o masie M_{BH} wyrażonej w masach słońca M_\odot . 7
- (T11.7) Korzystając jedynie z okresu (lub częstości) fal grawitacyjnych przed epoką zlewania się odpowiedz czy centralnym obiektem może być: gwiazda ciągu głównego (MS), biały karzeł (WD), gwiazda neutronowa (NS) czy czarna dziura (BH). Zaznacz właściwą odpowiedź na zbiorczej karcie odpowiedzi. Oszacuj masę ciała centralnego M_{obj} i wyraż ją w masach słońca M_\odot 5

(T12) Planety pozasłoneczne

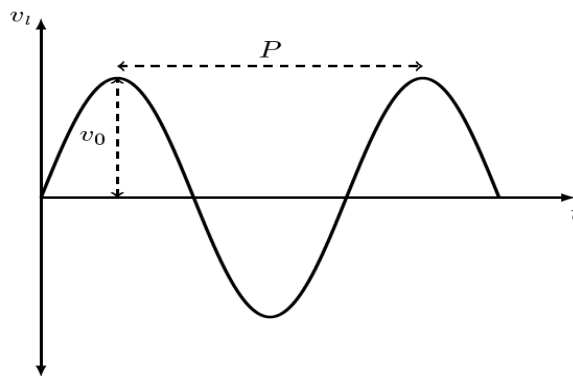
Dwie główne metody wykrywania exoplanet (planet wokół gwiazd innych niż Słońce) to metoda prędkości radialnych (tak zwana „wobble”, „chybotania”) oraz metoda tranzytów. W tym zadaniu, pokażemy jak połączenie tych dwu metod pozwala odkryć wiele informacji o planetach, jak również o gwiazdach przez nie okrążanych.

W tym zadaniu rozważymy planetę o masie M_p i promieniu R_p , poruszającą się po kołowej orbicie o promieniu a wokół gwiazdy o masie M_s ($M_s \gg M_p$) oraz promieniu R_s . Normalna do płaszczyzny orbity jest nachylona pod kątem i do linii widzenia ($i=90^\circ$ oznacza orbitę widzianą od krawędzi). Zakładamy, że nie ma innych planet obiegających tę gwiazdę oraz że $R_s \ll a$.

Metoda „wobble”, „chybotania”

Gdy planeta i gwiazda obiegają wspólny środek masy, można zauważyć, że gwiazda nieco się przesuwa inaczej mówiąc „chybotce się”, ponieważ środek masy gwiazdy nie pokrywa się ze środkiem masy układu planeta-gwiazda. W rezultacie światło docierające do obserwatora od takiej gwiazdy ulega małym przesunięciom dopplerowskim z powodu prędkości z jaką się chybotce.

Prędkość na linii widzenia v_l może być wyznaczona z przesunięcia dopplerowskiego znanej linii widmowej, oraz z jej okresowych zmian w czasie, t , jak pokazano na rysunku poniżej. Na wykresie przedstawiono dwie mieralne wartości dla tej metody: okres orbitalny P oraz maksymalną prędkość na linii widzenia v_0 .



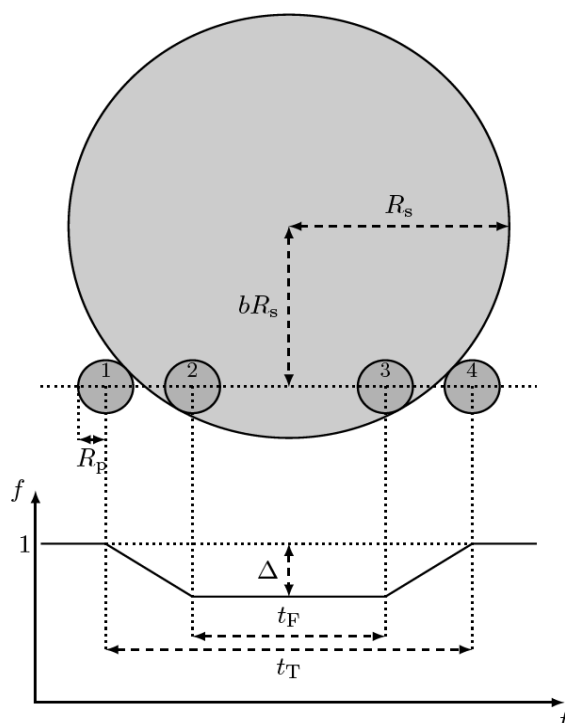
(T12.1) Wyprowadź wzór na promień orbity (a), oraz prędkość orbitalną (v_p) planety wyrażoną w M_s oraz P . 3

(T12.2) Wyznacz dolny limit masy planety $M_{p,min}$ wyrażona w M_s , v_0 oraz v_p 4

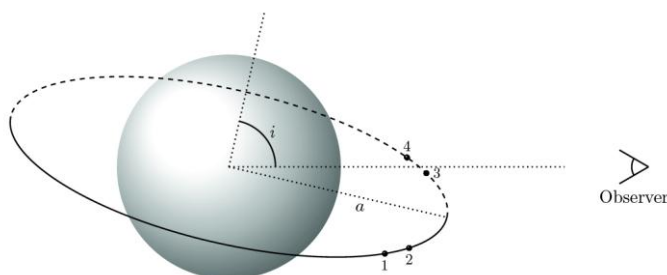
Metoda tranzytów

W trakcie gdy planeta okrąży gwiazdę i płaszczyzna jej obiegu jest bliska linii widzenia ($i \approx 90^\circ$), będzie okresowo przechodziła (będzie dochodziło do tranzytów) na tle dysku gwiazdy widzianego przez obserwatora. Takie zjawisko powoduje bardzo małe osłabienie obserwowanej jasności gwiazdy. Schematyczny wykres poniżej (skala nie jest zachowana) pokazuje sytuację z perspektywy obserwatora, oraz wynikającą z niej krzywą zmian blasku przejścia. (znormalizowany strumień f w funkcji czasu t) dla jednorodnie jasnego dysku gwiazdy.

Jeśli kąt inklinacji i wynosi dokładnie 90° , zaobserwujemy przejście planety dokładnie przez średnicę gwiazdy. Dla innych wartości inklinacji i , przejście odbywa się po cięciwie której środek leży w odległości bR_s od środka dysku gwiazdy, jak pokazano na rysunku. Strumień poza przejściem jest znormalizowany do 1, zaś maksymalna głębokość podczas tranzytu dana jest przez Δ .



Cztery wyróżnione punkty podczas przejścia to pierwszy, drugi, trzeci oraz czwarty kontakt, oznaczone odpowiednio przez pozycje 1 do 4 na rysunku. Przedział czasu od drugiego do trzeciego kontaktu oznaczono jako t_F , w tym czasie tarcza planety w całości znajduje się na tle tarczy gwiazdy. Przedział czasu od pierwszego do czwartego kontaktu oznaczono jako t_T . Punkty te zaznaczono na widocznym poniżej schematycznym rysunku przedstawiającym widok układu 'z boku' (rysunek nie zachowuje skali).



Wielkościami mierzonymi podczas obserwacji tranzytu są: P , t_F , t_T , Δ .

(T12.3) Znajdź warunek jaki musi spełniać i wyrażony w wielkościach R_S oraz a by tranzyt był w ogóle widoczny dla obserwatora położonego w nieskończoności. 2

(T12.4) Wyznacz Δ za pomocą wielkości R_S oraz R_p . 1

(T12.5) Wyraż t_T oraz t_F za pomocą wielkości R_S, R_p, a, P oraz b . 8

(T12.6) W przybliżeniu dla orbit znacznie większych niż promień gwiazdy pokaż że parametr b wyraża się wzorem: 5

$$b = \left[1 + \Delta - 2\sqrt{\Delta} \frac{1 + \left(\frac{t_F}{t_T}\right)^2}{1 - \left(\frac{t_F}{t_T}\right)^2} \right]^{1/2}$$

(T12.7) Użyj wyniku uzyskanego w poprzedniej części tego zadania (T12.6) aby uzyskać wyrażenie na stosunek a/R_S wyrażone przez mierzone parametry tranzytu używając odpowiednich przybliżeń. 3

(T12.8) Połącz wyniki metody „chybotania” oraz metody tranzytów aby wyznaczyć średnią gęstość gwiazdy $\rho_s \equiv \frac{M_s}{4\pi R_s^3/3}$ wyrażoną przez wielkości t_T, t_F, Δ oraz P . 6

Kamieniste czy gazowe

Rozważmy widziany od boku ($i = 90^\circ$) układ gwiazda-planeta (kołowa orbita planety), tak jak jest widziany z Ziemi. Wiadomo że gwiazda w tym układzie ma masę równą $1.00M_{sol}$. Tranzyty są obserwowane z okresem 50.0 dnia, zaś całkowity czas tranzytu (t_T) równy jest 1.00 godzinom. Głębokość tranzytu Δ równa jest 0.0064. Ten sam system jest także obserwowany metodą „chybotania” dzięki czemu wyznaczono maksymalną prędkość na linii widzenia równą 0.400 ms^{-1} .

(T12.9) Znajdź promień orbity a planety w jednostkach AU oraz w metrach. 2

(T12.10) Znajdź stosunek t_F/t_T układu. 2

(T12.11) Wyznacz masę M_p oraz promień R_p planety wyrażoną odpowiednio w wielkościach masy (M_E) oraz promienia (R_Z) Ziemi. W porównaniu planeta jest gazowa czy kamienna. Zaznacz ramkę dla ROCKY – kamienista lub GASEOUS- gazowa na sumarycznej karcie odpowiedzi. 8

Krzywa zmian blasku tranzytu z plamami oraz pociemnieniem brzegowym:

(T12.12) Rozważ przejście planety z $i = 90^\circ$ wokół gwiazdy która ma plamy na równiku. Rozmiar tych plam jest porównywalny do rozmiaru planety R_p . Okres obrotu gwiazdy wynosi $2P$. Narysuj schematyczny wykres krzywej zmian blasku tranzytu dla pięciu następujących po sobie przejść planety (na przygotowanych rysunkach w Karcie Odpowiedzi). Strumień poza tranzytem może być znormalizowany do jedynki dla każdego wykresu oddzielnie. Załóż że planeta nie mija plamy podczas pierwszego przejścia ale robi to podczas drugiego. 4

(T 12.13) Rozważaliśmy jednorodnie świecący dysk gwiazdy. Jednakże, rzeczywiste dyski mają pociemnienie brzegowe. Narysuj schematyczną krzywą zmian blasku przejścia planety gdy pociemnienie brzegowe jest obecne na dysku gwiazdy okrążanej. 2