

(T1) **Pravda nebo nepravda**

Rozhodněte pravdivost (TRUE / FALSE = PRAVDA / NEPRAVDA) následujících výroků. Vaše odpovědi vyznačte do souhrnného odpovědního archu (použijte symbol “tick” ✓). Nemusíte nic vysvětlovat.

- (T1.1) Na fotografii bezoblačné noční oblohy za úplňku by měla obloha (za předpokladu dostatečně dlouhé expozice) modrou barvu jako ve dne. 2
- (T1.2) Astronom v Bhubaneswaru každý den v roce přesně v 05:00 UT vyznačuje polohu Slunce na obloze. Pokud by byla rotační osa Země kolmá na rovinu jejího oběhu kolem Slunce, zaznamenané obrazy Slunce by na obloze vykreslily oblouk hlavní kružnice. 2
- (T1.3) Pokud je perioda oběhu nějakého malého tělesa, které obíhá kolem Slunce v rovině ekliptiky, menší než oběžná perioda Uranu, znamená to, že oběžná dráha tohoto tělesa musí celá ležet uvnitř oběžné dráhy Uranu. 2
- (T1.4) Hmotný střed sluneční soustavy se neustále nachází uvnitř Slunce (pod jeho povrchem). 2
- (T1.5) Hybnost fotonu, který se volně pohybuje prostorem, klesá v důsledku rozpínání vesmíru. 2

(T2) **Plyny na Titanu**

10

Částice plynů v atmosférách planet mají netriviální rozdělení velikostí rychlostí. Platí, že pokud střední kvadratická rychlost termálního pohybu částic nějakého plynu překročí 1/6 únikové rychlosti z povrchu dané planety, potom většina tohoto plynu z atmosféry planety unikne. Vypočtěte nejmenší relativní atomovou hmotnost A_{\min} ideálního jednoatomového plynu takovou, aby tento plyn setrval v atmosféře Titanu.

Hmotnost Titanu je $M_T = 1,23 \times 10^{23} \text{ kg}$, poloměr Titanu je $R_T = 2\,575 \text{ km}$, povrchová teplota Titanu je $T_T = 93,7 \text{ K}$.

(T3) **Raný vesmír**

Platí, že hustota ρ_r energie záření ve vesmíru je úměrná $(1+z)^4$, zatímco hustota ρ_m energie hmoty je úměrná $(1+z)^3$, kde z je červený posuv. Bezrozměrný hustotní parametr Ω je definován jako $\Omega = \rho/\rho_c$, kde ρ_c je kritická hustota energie vesmíru. V současném vesmíru mají hustotní parametry odpovídající hustotě energie záření, resp. hustotě energie hmoty hodnotu $\Omega_{r_0} = 10^{-4}$, resp. $\Omega_{m_0} = 0,3$.

- (T3.1) Vypočtěte červený posuv z_e odpovídající okamžiku, kdy si byly hustota energie záření a hustota energie hmoty rovny. 3
- (T3.2) Za předpokladu, že záření z raného vesmíru má spektrum absolutně černého tělesa s teplotou 2,732 K, odhadněte teplotu T_e záření v okamžiku, který odpovídá červenému posuvu z_e . 4

(T3.3) Odhadněte typickou energii E_ν jednoho fotonu tohoto záření (v jednotkách eV) v okamžiku, kdy byl vyzářen (foton byl vyzářen v okamžiku, který odpovídá červenému posuvu z_e). 3

(T4) **Stíny**

Pozorovatel na severní polokouli si všimnul, že délka stínu svislé 1,000 m dlouhé tyče se v průběhu jednoho dne měnila v rozmezí 1,732 m (minimum) až 5,671 m (maximum). Vypočtete zeměpisnou šířku ϕ tohoto pozorovatele a deklinaci δ_\odot Slunce v daný den. Předpokládejte, že Slunce je bodový zdroj záření a zanedbejte atmosférickou refrakci. 10

(T5) **Přechod přes zorný paprsek GMRT**

Giant Metrewave Radio Telescope (GMRT), jeden z největších radioteleskopů na světě pracujících na metrových vlnových délkách, se nachází v západní Indii (zeměpisná šířka: $19^\circ 6'N$, zeměpisná délka: $74^\circ 3'E$). GMRT je tvořen 30 talířovými anténami, každá s průměrem 45,0 m. Jedna z antén systému GMRT je ustavena tak, aby její osa mířila na místo na severním oblouku meridiánu se zenitovou vzdáleností $39^\circ 42'$. Uvažujme, že přes průměr zorného paprsku takto ustavené antény přejde bodový rádiový zdroj přecházející meridián. 10

Vypočtete dobu T_{transit} trvání přechodu objektu přes FWHM oblast (full width at half maximum = plná šířka polovičního maxima) zorného paprsku jedné antény systému GMRT, která pracuje na frekvenci 200 MHz.

Nápověda: FWHM oblast zorného paprsku antény radioteleskopu, který pracuje na dané frekvenci, odpovídá kruhové oblasti o úhlovém poloměru rovném rozlišovací schopnosti antény. Uvažujte rovnoměrné osvětlení.

(T6) **Pulzace cefeidy**

Hvězda β -Doradus je proměnná hvězda, cefeida, s periodou pulzace 9,84 dne. Uděláme zjednodušující předpoklad, že hvězda je nejjasnější, když je nejvíce smrštěná (poloměr je pak R_1), a nejslabší, když je nejvíce rozepnutá (poloměr je pak R_2). Pro jednoduchost předpokládejme, že hvězda má stále sférický tvar a chová se jako absolutně černé těleso v každém okamžiku během celého cyklu. Bolometrická hvězdná velikost hvězdy se mění od 3,46 do 4,08 mag. Z měření Dopplerova jevu víme, že během pulzací se povrch hvězdy zvětšuje nebo zmenšuje průměrnou radiální rychlostí $12,8 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$. Během periody pulzace se vlnová délka maxima tepelného záření hvězdy mění od 531,0 nm do 649,1 nm.

(T6.1) Najděte poměr poloměrů hvězdy v jejím nejvíce smrštěném a nejvíce rozepnutém stavu (R_1/R_2). 7

(T6.2) Vypočtete poloměr hvězdy (v metrech) v jejím nejvíce smrštěném a nejvíce rozepnutém stavu (R_1 a R_2). 3

(T6.3) Vypočtete zářivý tok hvězdy, F_2 , když se nachází v nejvíce rozepnutém stavu. 5

(T6.4) Určete vzdálenost hvězdy, D_{star} , v parsecích. 5

(T7) Optika dalekohledu

Ideální čočkový dalekohled má světelnost $f/5$, ohniskovou vzdálenost objektivu 100 cm a ohniskovou vzdálenost okuláru 1 cm.

(T7.1) Jaké je úhlové zvětšení, m_0 , dalekohledu? Jaká je délka dalekohledu, L_0 , t.j. vzdálenost mezi jeho objektivem a okulárem? 4

Vložení konkávní čočky (Barlowovy čočky) mezi čočku objektivu a primární ohnisko je obvyklý způsob zvýšení hodnoty zvětšení dalekohledu aniž by se podstatně zvětšila délka dalekohledu. Barlowova čočka s ohniskovou vzdáleností 1 cm je nyní vložena mezi objektiv a okulár tak, aby zvětšení bylo dvojnásobné.

(T7.2) V jaké vzdálenosti, d_B , od primárního ohniska musí být umístěna Barlowova čočka, abychom obdrželi požadované dvojnásobné zvětšení? 6

(T7.3) Jak se prodlouží, ΔL , délka dalekohledu? 4

Dalekohled je nyní vybaven stejným objektivem a do primárního ohniska je umístěn CCD detektor (bez Barlowovy čočky a bez okuláru). Velikost každého pixelu CCD detektoru je $10 \mu\text{m}$.

(T7.4) Jaká bude vzdálenost v pixelech mezi středy obrazů hvězd, n_p , na CCD snímku, jestliže na obloze jsou od sebe vzdáleny $20''$? 6

(T8) Fotometrie v barvě U

Hvězda má hvězdnou velikost $m_U = 15,0$ v pásmu U. Filtr pásma U je ideální, což znamená, že má maximální (100 %) propustnost uvnitř pásma a je zcela nepropustný (0 %) mimo pásmo. Filtr je centrován na 360 nm a má šířku 80 nm. Předpokládáme, že hvězda má ploché spektrum vyzařované energie vzhledem k frekvenci. Převodní vztah mezi hvězdnou velikostí, m , v libovolném pásmu a odpovídající hustotou toku, f , hvězdy v jednotkách Jansky ($1 \text{ Jy} = 1 \times 10^{-26} \text{ W} \cdot \text{Hz}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$) je dán výrazem

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

(T8.1) Kolik fotonů z U pásma, N_0 , od této hvězdy bude dopadat kolmo na plochu 1 m^2 na úrovni horní hranice zemské atmosféry za jednu sekundu? 8

Hvězda je pozorována v pásmu U pozemním dalekohledem s průměrem primárního zrcadla 2,0 m. Atmosférická extinkce v pásmu U má během pozorování hodnotu 50 %. Můžete

předpokládat, že seeing je menší nebo shodný s difrakčním limitem dalekohledu. Změřená průměrná plošná jasnost noční oblohy v pásmu U má hodnotu $22,0 \text{ mag/arcsec}^2$.

(T8.2) Jaký je poměr, R , počtu fotonů přicházejících každou sekundu od hvězdy k počtu fotonů přicházejících od oblohy, pokud tato je měřena přes kruhovou clonu o průměru $2''$? 8

(T8.3) V praxi je detekováno pouze 20 % fotonů U pásma, které dopadnou na hlavní zrcadlo. Kolik fotonů přicházejících od hvězdy, N_t , je detekováno za sekundu? 4

(T9) Mars Orbiter Mission

Indická sonda Mars Orbiter Mission (MOM) byla vynesena na oběžnou dráhu kolem Země pomocí rakety Polar Satellite Launch Vehicle (PSLV) dne 5. listopadu 2013. Hmotnost sondy MOM bez paliva (konstrukce + přístroje) byla 500 kg . Sonda nesla celkem 852 kg paliva. Sonda byla po vypuštění umístěna na eliptickou dráhu kolem Země s perigeem ve výšce $264,1 \text{ km}$ nad povrchem Země a apogeem ve výšce $23\,903,6 \text{ km}$ nad povrchem Země. Poté, co byla oběžná dráha sondy pomocí šesti manévrů zvýšena, přesunula se sonda MOM na Hohmannovskou dráhu pro přechod mezi Zemí a Marsem.

První manévr zvyšující oběžnou dráhu sondy kolem Země byl vykonán pomocí velmi krátkého zážehu motoru poblíž perigea. Motor byl zažehnut tak, aby se nezměnily rovina ani perigeum dráhy sondy. Zážeh předal sondě celkový impuls $1,73 \times 10^5 \text{ kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$. Zanedbejte změnu hmotnosti sondy zapříčiněnou spálením části paliva.

(T9.1) Vypočtete výšku h_a nového apogea dráhy sondy nad povrchem Země po zážehu motoru. 14

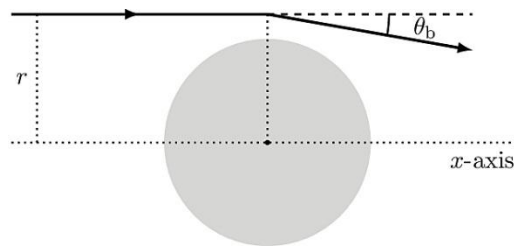
(T9.2) Vypočtete excentricitu (e) nové dráhy sondy po zážehu motoru a rovněž novou periodu oběhu (P) sondy MOM v hodinách. 6

(T10) Gravitační dalekohled

Einsteinova teorie obecné relativity předpovídá efekt ohýbání paprsků světla, které procházejí kolem hmotných těles. Pro jednoduchost předpokládejme, že každý paprsek je ohnut přesně v jednom bodě, viz obrázek níže. Úhel θ_b ohnutí paprsku je dán vztahem

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

kde R_{sch} je Schwarzschildův poloměr příslušející gravitujícímu tělesu, kolem kterého se paprsek ohýbá. Parametr r , tedy vzdálenost příchozího paprsku světla od rovnoběžky procházející středem gravitujícího tělesa (na obrázku značena jako “ x -axis” = osa x), nazýváme “impact parameter”.



Hmotné těleso tedy působí trochu jako spojná čočka. Paprsky světla, které přichází z jednoho směru z nekonečné vzdálenosti a prochází kolem hmotného gravitujícího tělesa se stejným impact parametrem r , se sbíhají do jednoho bodu na ose x ve vzdálenosti f_r od středu gravitujícího tělesa. Pozorovatel v tomto bodě může využít obrovského zvětšení v důsledku gravitačního zfokusování. Gravitující těleso tedy může být použito jako Gravitačně-čočující dalekohled k zesílení signálu ze vzdálených zdrojů.

(T10.1) Uvažujte možnost, že by Slunce bylo použito jako takovýto gravitačně-čočující dalekohled. Vypočtete nejkratší možnou vzdálenost f_{\min} od středu Slunce (v AU), ve které mohou být Sluncem soustředěny paprsky světla přichozí od vzdáleného zdroje. 6

(T10.2) Uvažujte malý kruhový detektor o poloměru a , který umístíme do vzdálenosti f_{\min} od středu Slunce kolmo na osu x . Detektor rovněž vystředujeme na osu x (osa x tedy prochází středem detektoru kolmo na něj). Pověšme si, že na detektor dopadají pouze paprsky, které kolem Slunce prošly skrze jisté mezikruží (prstýnek) o šířce h (kdeh $\ll R_{\odot}$). Faktor zesílení v místě detektoru je definován jako poměr intenzity záření, které na detektor dopadá v přítomnosti gravitujícího tělesa (Slunce) vůči intenzitě záření, které by na detektor dopadalo, kdybychom gravitující těleso (Slunce) odebrali. 8

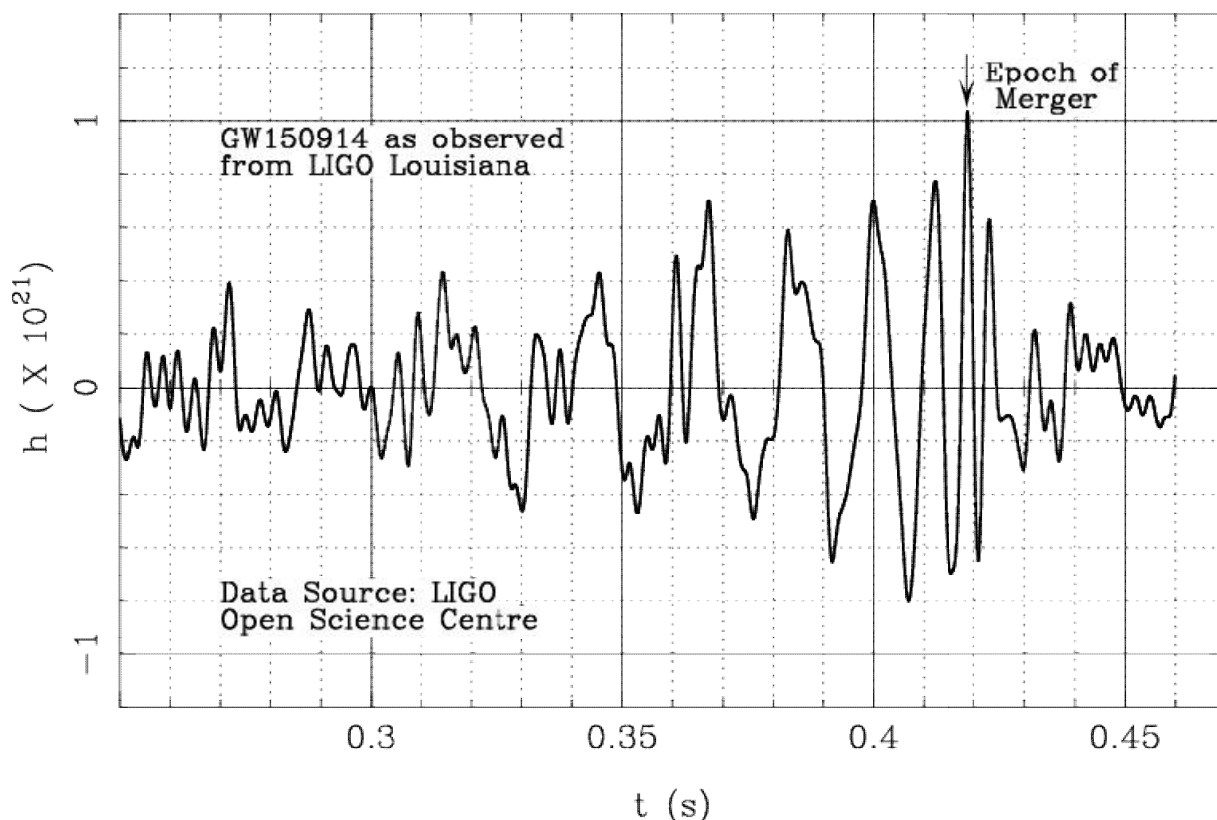
Vyjádřete faktor zesílení A_m v místě zesílení obecně pomocí veličin R_{\odot} a a .

(T10.3) Uvažujte sférickou distribuci hmoty, například temnou hmotu v kupě galaxií, skrz kterou může světlo volně procházet zatímco je zároveň gravitačně ohýbáno. Pro jednoduchost předpokládejte, že při ohýbání paprsku s impact parametrem r je relevantní pouze hmotnost $M(r)$ uzavřená v kouli o poloměru r . 6

Určete distribuci $M(r)$ hmoty takovou, aby se gravitační čočka chovala jako ideální optická spojná čočka.

(T11) Gravitační vlny

Gravitační vlny byly poprvé pozorovány dvěma detektory LIGO v Hanfordu a Livingstonu v USA v září roku 2015. Jedno z těchto měření (graf závislosti relativního prodloužení detektoru v závislosti na čase v sekundách) vidíte na obrázku níže. V této úloze se pokusíme interpretovat tento signál pomocí jednoduchého modelu, kde testovací tělísko o malé hmotnosti m obíhá kolem velmi hmotného centrálního tělesa o hmotnosti M (tedy $m \ll M$). Uvážíme přitom několik možností pro typ centrálního tělesa.



Testovací tělísko ztrácí energii vyzařováním gravitačních vln. Poloměr jeho oběžné dráhy se tímto zmenšuje až do bodu, kdy testovací tělísko dosáhne povrchu centrálního tělesa, nebo, v případě černé díry, poloměru nejvnitřnější stabilní kruhové dráhy (tzv. ISCO = innermost stable circular orbit). Poloměr ISCO je dán vztahem $R_{ISCO} = 3R_{Sch}$, kde R_{Sch} je Schwarzschildův poloměr černé díry. Tento okamžik se nazývá “epocha srážky” (v grafu značeno jako “epoch of merger”). V tomto okamžiku jsou amplituda vyzářené gravitační vlny i její frekvence maximální (frekvence vlny je vždy určena jako dvojnásobek oběžné frekvence systému). V této úloze se budeme zabývat pouze gravitačními vlnami emitovanými před srážkou, kdy budeme předpokládat, že platí Keplerovy zákony. Po srážce se forma vyzářených gravitačních vln drasticky změní.

(T11.1) Uvažujte data z pozorování gravitačních vln, která vidíte na již zmíněném grafu výše. Odhadněte časovou periodu T_0 gravitačních vln těsně před epochou srážky. Vypočítejte jejich frekvenci f_0 . 3

(T11.2) Poloměr R_{MS} a hmotnost M_{MS} hvězd hlavní poslounosti jsou vztaženy mocninnou závislostí, která je dána jako 10

$$R_{MS} \propto (M_{MS})^\alpha,$$

kde $\alpha = 0,8$ pro $M_\odot < M_{MS}$ a

$\alpha = 1,0$ pro $0,08M_\odot \leq M_{MS} \leq M_\odot$.

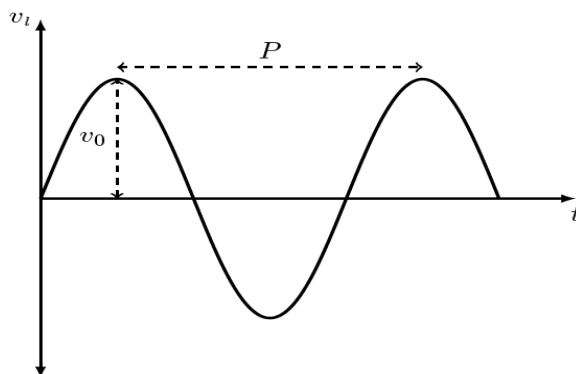
Za předpokladu, že by centrálním objektem byla hvězda hlavní poslounosti, odvoďte výraz pro maximální frekvenci f_{MS} vyzářených gravitačních vln. Výsledek zapište pomocí poměru (M_{MS}/M_\odot) (hmotnost hvězdy v jednotkách hmotnosti Slunce) a parametru α .

- (T11.3) Za použití předchozího výsledku vyberte hodnotu parametru α , která vám dá největší možnou frekvenci $f_{MS,max}$ vyzářených gravitačních vln pro hvězdy hlavní posloupnosti. Vyčíslete tuto frekvenci. 9
- (T11.4) Bílí trpaslíci (WD = White Dwarf) můžou mít hmotnost nejvýše $1,44 M_{\odot}$ (známou jako Chandrasekharova mez) a platí pro ně následující vztah hmotnost-poloměr: $R \propto M^{-1/3}$. Poloměr bílého trpaslíka o hmotnosti Slunce je roven 6000 km . Vypočtete největší možnou frekvenci $f_{WD,max}$ vyzářených gravitačních vln za předpokladu, že testovací tělíčko obíhá kolem bílého trpaslíka. 8
- (T11.5) Neutronové hvězdy (NS = Neutron Star) jsou kompaktní objekty, jejichž hmotnosti leží v rozmezí $1 M_{\odot}$ až $3 M_{\odot}$ a jejichž poloměry leží v rozmezí $10 - 15 \text{ km}$. Určete rozmezí $f_{NS,min}$ a $f_{NS,max}$ frekvencí vyzářených gravitačních vln za předpokladu, že testovací tělíčko obíhá kolem neutronové hvězdy blízko jejího povrchu. 8
- (T11.6) Za předpokladu, že testovací tělíčko obíhá kolem černé díry (BH = black hole), odvoďte vztah pro frekvenci f_{BH} vyzářených gravitačních vln. Výsledek zapište pomocí hmotnosti M_{BH} černé díry a hmotnosti Slunce M_{\odot} . 7
- (T11.7) Rozhodněte, zda centrálním objektem může být hvězda hlavní posloupnosti (MS), bílý trpaslík (WD), neutronová hvězda (NS), nebo černá díra (BH). Rozhodnutí učiňte pouze na základě úvah o periodě (frekvenci) gravitačních vln vyzářených těsně před epochou srážky. Zaškrtněte (tick “√”) správnou možnost v souhrnném odpovědním archu. Odhadněte hmotnost M_{obj} centrálního objektu v jednotkách M_{\odot} . 5
- (T12) **Exoplanety**
Dva hlavní způsoby detekce exoplanet (planet u jiných hvězd než je Slunce) jsou metoda radiálních rychlostí (tzv. "wobble-method") a metoda transitů. V této úloze zjistíme, jak lze kombinací výsledků z těchto dvou metod získat velké množství informací o obíhající exoplanetě a její mateřské hvězdě.
- V celé úloze uvažujeme případ exoplanety o hmotnosti M_p a poloměru R_p obíhající po kruhové dráze o poloměru a okolo hvězdy o hmotnosti M_s (kde $M_s \gg M_p$) a poloměru R_s . Kolmice na rovinu oběhu planety je skloněna o úhel i vzhledem ke směru k pozorovateli ($i = 90^\circ$ znamená, že se na oběžnou dráhu díváme "z boku"). Předpokládejme, že okolo hvězdy neobíhá žádná jiná planeta a $R_s \ll a$.

Metoda radiálních rychlostí (“Wobble” Method):

Když planeta a hvězda obíhají okolo jejich hmotného středu, hvězda se mírně pohybuje ("kýve"), protože hmotný střed hvězdy není totožný s hmotným středem soustavy hvězda - planeta. V důsledku toho pozorujeme ve světle přicházejícím z hvězdy malý Dopplerovský posuv úměrný velikosti rychlosti "kývání".

Průmět rychlosti hvězdy do směru k pozorovateli, v_l , může být určen z Dopplerova posuvu nějaké známé spektrální čáry a její periodické změny v závislosti na čase t je zobrazena na schematickém grafu níže. V tomto grafu jsou vyneseny dvě veličiny měřitelné touto metodou, totiž perioda oběhu P a maximální hodnota průmětu rychlosti do směru k pozorovateli v_0 .



(T12.1) Odvoďte vztahy pro poloměr dráhy (a) a oběžné rychlosti (v_p) planety. Výsledek vyjádřete pomocí M_s a P . 3

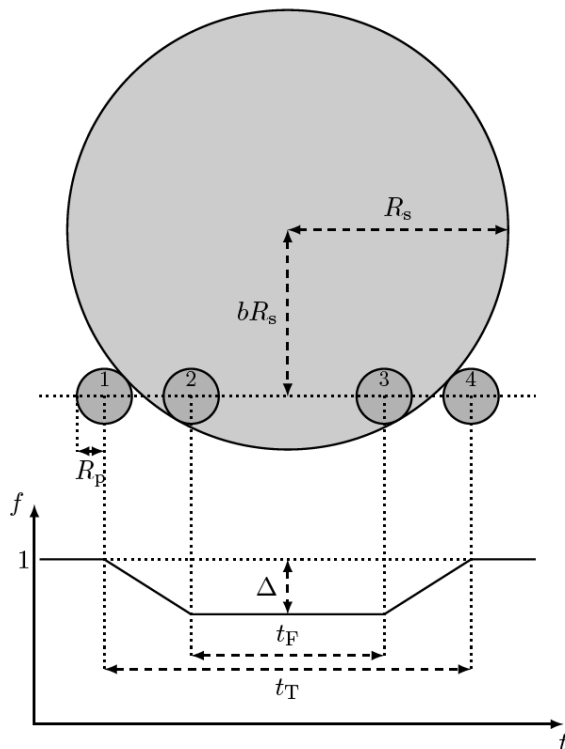
(T12.2) Určete dolní mez hmotnosti planety, $M_{p,\min}$. Výsledek vyjádřete pomocí M_s , v_0 a v_p . 4

Metoda transitů:

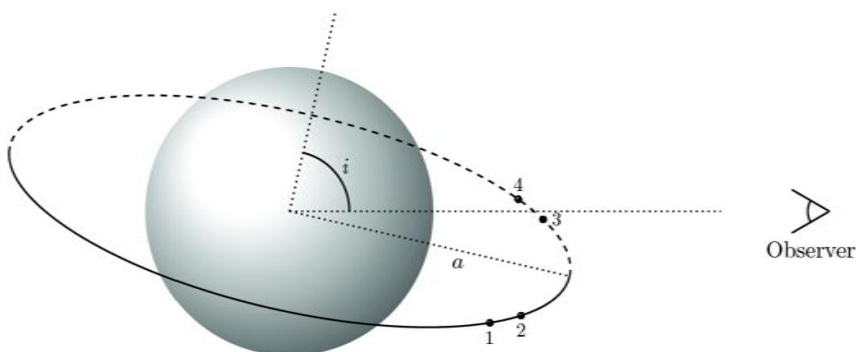
V případě, že se na rovinu oběhu planety díváme téměř z boku ($i \approx 90^\circ$), uvidí pozorovatel periodické přechody (transity) planety před diskem mateřské hvězdy. To způsobí malý, ale měřitelný, pokles v pozorovaném světelném toku z hvězdy. Schematický náčrt níže (který NENÍ nakreslen v měřítku) znázorňuje situaci z pohledu pozorovatele a výslednou světelnou křivku tranzitu (závislost normovaného toku f na čase t) pro stejnoměrně jasný hvězdný disk.

Pokud je sklon i je přesně 90° , pozorovali bychom planetu přecházet podél celého průměru disku mateřské hvězdy. Pro jiné hodnoty i nastává přechod podél sečny, jejíž střed leží ve vzdálenosti bR_s od středu disku hvězdy, jak ukazuje obrázek. Světelný tok mimo přechod je normován na 1 a maximální pokles během tranzitu označíme jako Δ .

Čtyři významné body transitu jsou první, druhý, třetí a čtvrtý kontakt, označeny číslicemi 1 až 4 na obrázku níže. Časový interval mezi druhým a třetím kontaktem, kdy se celý disk planety nachází před diskem hvězdy, se označuje jako t_F . Časový interval mezi prvním



a čtvrtým kontaktem se označuje jako t_T . Tyto body jsou rovněž vyznačeny na schematicém diagramu, který ukazuje pohled na oběžnou dráhu ze strany. (NENÍ v měřítku).



Veličiny měřitelné metodou tranzitu jsou P , t_T , t_F a Δ .

(T12.3) Určete omezující podmínku pro i takovou, aby vůbec pro vzdáleného pozorovatele mohla tranzit nastat. Podmínku vyjádřete pomocí R_s a a . 2

(T12.4) Vyjádřete Δ pomocí R_s a R_p . 1

(T12.5) Vyjádřete t_T a t_F pomocí R_s , R_p , a , P a b . 8

- (T12.6) V přibližení, kdy oběžná dráha je mnohem větší, než poloměr hvězdy ukažte, že parameter b je dán vztahem: 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) Použijte výsledek části (T12.6) k odvození vztahu pro poměr a/R_s vyjádřený pomocí měřitelných parametrů tranzitu. Zvolte vhodnou aproximaci. 3

- (T12.8) Zkombinujte výsledky metody radiálních rychlostí a metody tranzitu k určení střední hustoty hvězdy $\rho_s \equiv \frac{M_s}{4\pi R_s^3/3}$. Výsledek vyjádřete pomocí t_T , t_F , Δ a P . 6

Kamenná nebo plynná:

Uvažujme soustavu hvězda planeta pozorovanou z boku ($i = 90^\circ$) s kruhovou oběžnou dráhou planety. Systém pozorujeme ze Země. Víme, že mateřská hvězda má hmotnost $1,00 M_\odot$. Tranzity pozorujeme s periodou $P = 50,0$ dnů a doba trvání jednoho tranzitu je $t_T = 1,00$ h odina Hloubka tranzitu je $\Delta = 0,0064$. Při pozorování stejného systému jsme metodou radiálních rychlostí naměřili velikost průmětu rychlosti hvězdy do směru k pozorovateli $0,400 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

- (T12.9) Určete poloměr oběžné dráhy planety a v jednotkách AU a v metrech. 2

- (T12.10) Určete poměr t_F/t_T pro tento systém. 2

- (T12.11) Vyjádřete hmotnost M_p , resp. poloměr R_p planety pomocí hmotnosti (M_\oplus), resp. poloměru (R_\oplus) Země. Rozhodněte, jestli je pravděpodobnější, že je planeta kamenná nebo plynná. zatrhněte box ROCKY (kamenná) nebo GASEOUS (plynná) v souhrnném odpovědním archu. 8

Světelná křivka tranzitu v přítomnosti hvězdných skvrn a okrajového ztemnění:

- (T12.12) Uvažujte tranzit planety pro $i = 90^\circ$ okolo hvězdy, která má skvrnu na svém rovníku. Skvrna je srovnatelná s velikostí planety R_p . Rotační perioda hvězdy je $2P$. Do předloh v souhrnném odpovědním archu nakreslete schematické průběhy světelné křivky tranzitu pro pět po sobě jdoucích tranzitů planety. Světelný tok mimo tranzit můžete nezávisle normovat na jedničku. Předpokládejte, že v průběhu prvního tranzitu planeta nepřejde přes hvězdnou skvrnu, zatímco v průběhu druhého tranzitu přejde. 4

- (T12.13) V celé této úloze jsme uvažovali stejnoměrně jasný hvězdný disk. Avšak v případě skutečných hvězdných disků pozorujeme okrajové ztemnění. Nakreslete schematický průběh světelné křivky, jestliže u hvězdy pozorujeme okrajové ztemnění. 2