

VZOROVÉ RIEŠENIA

Astronomickej olympiády 2025

Kolo: regionálne kolo Kategória: základná škola

Teoretické úlohy

T1 Braheho kvadrant (40b)	2
T2 Pierko a kladivo (70b)	3
T3 Veľké americké zatmenie II (110b) . . .	5
T4 Trappist-1 (180b)	7

Praktická časť

P1 Originálny názov (200b)	11
--------------------------------------	----

Zoznam konštánt	14
----------------------------------	----

Dokopy bolo možné získať **600b**

Zverejnené 11. 04. 2025

Tento dokument je možné voľne distribuovať
nekomerčným spôsobom pre vzdelávacie účely s uvedením zdroja.



Slovenská ústredná hvezdáreň
v Hurbanove



*Slovenská
Astronomická
Spoločnosť*
pri Slovenskej akadémii vied

Súťaž vyhlasuje Slovenská ústredná hvezdáreň Hurbanovo v spolupráci so SAS pri SAV,
s hvezdárňami a planetáriami, astronomickými kabinetmi, osvetovými strediskami,
centrami voľného času a regionálnymi kultúrnymi centrami.

Teoretické úlohy

T1 Braheho kvadrant

(40b, autor: Samuel Buranský)

Akú najväčšiu chybu mohol spraviť Tycho Brahe pri meraní uhlov svojím kvadrantom, ak polomer kvadrantu bol 2 m a najmenší dielik na jeho obvode mal 0,5 mm. Z historických záznamov vieme, že Brahe dokázal dosiahnuť aj väčšiu presnosť. Skúste vysvetliť, ako je to možné.

Na to, aká je maximálna chyba kvadrantu, môžeme prísť analógiou s bežným pravítkom. Ak by sme pri bežnom pravítku, ktorého jeden dielik má 1 mm, zmerali vzdialenosť na celé milimetre, tak by najväčšia možná chyba bola 0,5 mm, čo je polovica najmenšieho dielika.

Obdobne to bude platiť pre kvadrant, ktorého dielik má $d = 0,5$ mm, a teda polovica jeho najmenšieho dielika je $d/2 = 0,25$ mm. Túto chybu je ale nutné previesť na uhlovú mieru. Jedna z možností na určenie uhla je, že dĺžka kružnicového oblúka zodpovedá hľadanému uhlu a obvod celej kružnice zodpovedá uhlu 360° . Pri zapísaní matematicky

$$\frac{\Delta}{360^\circ} = \frac{d/2}{2\pi R}, \quad (\text{T1.1})$$

kde R je polomer kružnice (kvadrantu). Hľadaný uhol Δ teda dostaneme ako

$$\Delta = \frac{d/2}{2\pi R} \cdot 360^\circ = \frac{0,25}{2\pi \cdot 2000} \cdot 360^\circ \approx 26''. \quad (\text{T1.2})$$

Zlepšiť presnosť takéhoto merania je možné opakovaným meraním.

T2 Pierko a kladivo

(70b, autor: Terézia Hanáková)

Uvažujte, že na Mesiaci sa nenachádza vzduch a že tiažové zrýchlenie na jeho povrchu je rovné gravitačnému zrýchleniu, ktoré má hodnotu $1,6 \text{ m s}^{-2}$. Astronauti na Mesiaci spravili experiment, pri ktorom naraz pustili z rovnakej výšky $1,6 \text{ m}$ pierko a kladivo. Viete, že hmotnosť pierka je 30 g , hmotnosť kladiva $1,3 \text{ kg}$ a hmotnosť Mesiaca $7,3 \cdot 10^{22} \text{ kg}$.

- (a) [15 b] Aká gravitačná sila pôsobila na pierko a aká na kladivo?
 (b) [55 b] Ktoré teleso dopadlo skôr? Vypočítaj číselne pre pierko i kladivo.

(a) Sily, ktoré pôsobia na pierko a kladivo si vieme vypočítať pomocou gravitačného zákona

$$F_g = G \frac{mM}{r^2}. \quad (\text{T2.1})$$

Napíšeme si ho pre pierko a kladivo

$$F_{g,p} = G \frac{M_{\text{M}} m_p}{r^2}, \quad F_{g,k} = G \frac{M_{\text{M}} m_k}{r^2}. \quad (\text{T2.2})$$

A dosadíme hodnoty

$$F_{g,p} = G \frac{M_{\text{M}} m_p}{(R_{\text{M}} + h)^2} = 6,674 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2} \cdot \frac{7,3 \cdot 10^{22} \text{ kg} \cdot 0,03 \text{ kg}}{(1\,737\,000 \text{ m} + 1,6 \text{ m})^2} \approx 0,048 \text{ N}, \quad (\text{T2.3})$$

$$F_{g,k} = G \frac{M_{\text{M}} m_k}{(R_{\text{M}} + h)^2} = 6,674 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2} \cdot \frac{7,3 \cdot 10^{22} \text{ kg} \cdot 1,3 \text{ kg}}{(1\,737\,000 \text{ m} + 1,6 \text{ m})^2} \approx 2,1 \text{ N}. \quad (\text{T2.4})$$

(b) To, ako sú pierko a kladivo urýchľované zistíme pomocou zrýchlenia g , ktoré vystupuje v Newtonovom zákone sily

$$F_g = mg, \quad (\text{T2.5})$$

v ktorom sa gravitačná sila môže zapísať aj gravitačným zákonom

$$F_g = G \frac{mM}{r^2}. \quad (\text{T2.6})$$

Tieto vzťahy (T2.5) a (T2.6) si napíšeme pre pierko a kladivo

$$F_{g,p} = m_p g_p, \quad F_{g,k} = m_k g_k, \quad (\text{T2.7})$$

$$F_{g,p} = G \frac{M_{\text{M}} m_p}{r^2}, \quad F_{g,k} = G \frac{M_{\text{M}} m_k}{r^2}. \quad (\text{T2.8})$$

Ak teraz spojíme tieto rovnice, dostávame

$$m_p g_p = G \frac{M_{\text{M}} m_p}{r^2}, \quad m_k g_k = G \frac{M_{\text{M}} m_k}{r^2}. \quad (\text{T2.9})$$

Z oboch rovníc sa vykrátia hmotnosti pierka a kladiva, čím dostávame vzťah pre gravitačné zrýchlenie na Mesiaci

$$g_p = G \frac{M_{\text{C}}}{r^2} \quad , \quad g_k = G \frac{M_{\text{C}}}{r^2} . \quad (\text{T2.10})$$

Z týchto rovníc už vidíme, že sa rovnajú, pretože výška h , z ktorej púšťame pierko aj kladivo je rovnaká. Platí, že $r = R_{\text{C}} + h$, kde $h = 1,6 \text{ m}$. Môžeme si dosadiť a získame hodnotu

$$g_p = g_k = g = G \frac{M_{\text{C}}}{(R_{\text{C}} + h)^2} , \quad (\text{T2.11})$$

$$g = 6,674 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2} \cdot \frac{7,3 \cdot 10^{22} \text{ kg}}{(1\,737\,000 \text{ m} + 1,6 \text{ m})^2} \approx 1,6 \text{ m s}^{-2} . \quad (\text{T2.12})$$

To je tiež hodnota v zadaní. Platí teda, že pierko aj kladivo sú urýchľované rovnakým zrýchlením, a tým pádom padajú na povrch Mesiaca voľným pádom, ktorého dráha má vzťah

$$h = \frac{1}{2} g t^2 . \quad (\text{T2.13})$$

Pre pierko a kladivo

$$h_p = \frac{1}{2} g t_p^2 \quad , \quad h_k = \frac{1}{2} g t_k^2 . \quad (\text{T2.14})$$

Ak výška $h_p = h_k = h$, vieme si vyjadriť čas t

$$t_p = \sqrt{\frac{2h}{g}} \quad , \quad t_k = \sqrt{\frac{2h}{g}} . \quad (\text{T2.15})$$

Vidíme, že $t_p = t_k$, čím sme aj matematicky dokázali, že dopadnú v rovnakom čase, a to konkrétne za

$$t = \sqrt{\frac{2 \cdot 1,6 \text{ m}}{1,6 \text{ m s}^{-2}}} \approx 1,4 \text{ s} \quad (\text{T2.16})$$

Keby bol na Mesiaci vzduch, pôsobilo by medzi pierkom a kladivom trenie, kvôli čomu by kladivo dopadlo na zem skôr ako pierko, no vo vákuu trenie neexistuje, a preto sú všetky telesá priťahované k zemi rovnakým gravitačným zrýchlením, ktoré nezávisí na ich hmotnosti.

T3 Veľké americké zatmenie II

(110b, autor: Jana Švrčková)

Na americkom kontinente sa 8. apríla 2024 odohralo úplné zatmenie Slnka. Hoci sa tento úkaz odohráva pomerne často, je stále veľmi vzácny, pretože ho je možné pozorovať iba z úzkeho pruhu na zemskom povrchu – tzv. pásu totality. Tento pás je pri každom zatmení odlišný, preto sa na jednom mieste na Zemi zatmenie vyskytuje extrémne zriedkavo.

Navyše, máme šťastie, že tento úchvatný úkaz vôbec môžeme pozorovať. Pomerne známym faktom je, že Mesiace sa postupne vzdaluje od Zeme. Jeho veľká polos sa zväčšuje tempom 3,78 cm/rok. Za určitú dobu sa Mesiač vzdiali natoľko, že už nebude možné pozorovať úplné zatmenie Slnka – Mesiač bude pri pohľade zo Zeme príliš malý na to, aby zakryl celé Slnko.

Vašou úlohou je zistiť, kedy k tomu dôjde - vypočítajte, za koľko rokov bude naposledy možné aspoň z jedného miesta na Zemi pozorovať úplné zatmenie Slnka. Uvažujete eliptické dráhy Zeme aj Mesiaca okolo Slnka a nemennosť excentricity týchto dráh v čase. Excentricita mesačnej dráhy je $e_{\text{C}} = 0,0549$.

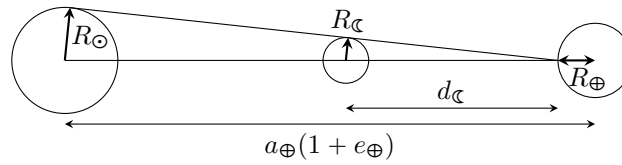
Podobne ako v úlohe o zatmení v domácom kole, je potrebné si dobre premyslieť geometriu úlohy. Hraničná situácia opäť nastane v momente, kedy pozorovateľ, ktorý sa nachádza na rovníku na priamke Slnko – Mesiač – pozorovateľ – stred Zeme, vidí Mesiač zdanlivo rovnako veľký ako Slnko.

Uhlový priemer Mesiaca, pod akým ho vidí pozorovateľ pri zatmení, závisí na dvoch okolnostiach: na veľkej polosi dráhy Mesiaca, ktorá sa postupne zväčšuje, a na aktuálnej polohe Mesiaca na jeho dráhe (teda či je v perigeu, apogeu alebo niekde medzi). Zato uhlový priemer Slnka závisí iba na polohe Zeme na jej dráhe.

Keďže sa veľká polos Mesiaca zväčšuje, jeho uhlový priemer sa zmenšuje. Zároveň vrámci jednej obežnej doby sa nám Mesiač javí najväčší vtedy, keď je v perigeu. Slnko sa nám javí najmenšie, keď je Zem v aféliu. Po uplynutí určitej doby sa dostaneme do situácie, kedy uhlový priemer Mesiaca v perigeu bude rovnaký ako uhlový priemer Slnka, keď je Zem v aféliu. Práve v tej chvíli bude (aspoň teoreticky) možné pozorovať posledné úplné zatmenie Slnka. Ak sa veľká polos Mesiaca ešte o niečo zväčší, Mesiač už nikdy nebude mať dostatočnú uhlovú veľkosť na to, aby zakryl celé Slnko, a preto nastane iba prstencové zatmenie.

Potrebuje teda vypočítať vzdialenosť stredu Mesiaca od stredu Zeme, resp. veľkú polos Mesiaca, v tomto momente. Na základe známej rýchlosti zväčšovania jeho veľkej polosi vieme následne vypočítať, kedy bude možné pozorovať posledné úplné zatmenie Slnka.

Nakreslíme si podobný obrázok ako pri riešení úlohy z domáceho kola. V tomto prípade je ale Zem v aféliu, takže sa vzdialenosť Slnka od Zeme rovná $a_{\oplus}(1 + e_{\oplus})$. Vzdialenosť Mesiaca v perigeu od stredu Zeme je $a_{\text{C}}(1 - e_{\text{C}})$.



Obr. T3.1: Geometria posledného úplného zatmenia Slnka, ktoré by sa teoreticky dalo pozorovať z povrchu Zeme.

Keďže pre pozorovateľa na rovníku Zeme majú Slnko aj Mesiac rovnaký uhlový rozmer, môžeme využiť podobnosť trojuholníkov. Vzďialenosť Mesiaca od pozorovateľa je $d_{\zeta} = a_{\zeta}(1 - e_{\zeta}) - R_{\oplus}$. Rovnakým spôsobom získame aj vzdialenosť Slnka od pozorovateľa. Kvôli podobnosti trojuholníkov platí rovnosť v tvare

$$\frac{R_{\odot}}{a_{\oplus}(1 + e_{\oplus}) - R_{\oplus}} = \frac{R_{\zeta}}{d_{\zeta}}. \quad (\text{T3.1})$$

Vyjadríme si d_{ζ} ,

$$d_{\zeta} = \frac{R_{\zeta}}{R_{\odot}} (a_{\oplus}(1 + e_{\oplus}) - R_{\oplus}) \approx 3,798 \cdot 10^8 \text{ m}. \quad (\text{T3.2})$$

Teraz vypočítame veľkú polos Mesiaca v čase zatmenia

$$a_{\zeta} = \frac{d_{\zeta} + R_{\oplus}}{(1 - e_{\zeta})} \approx 4,086 \cdot 10^8 \text{ m}. \quad (\text{T3.3})$$

Hodnotu veľkej polosi mesiaca v súčasnosti si nájdeme v zozname konštánt, $a_{\zeta,0} = 3,844 \cdot 10^8 \text{ m}$. Čas, ktorý uplynie od súčasnosti po posledné pozorovateľné úplné zatmenie Slnka, vypočítame ako

$$t = \frac{a_{\zeta} - a_{\zeta,0}}{v}, \quad (\text{T3.4})$$

kde v je rýchlosť zväčšovania sa veľkej polosi mesačnej dráhy. Treba si dať pozor na to, že v zadaní je táto hodnota uvedená v cm za rok. Číselne vyjde $t = 6,4 \cdot 10^8$ rokov.

T4 Trappist-1

(180b, autor: Samuel Buranský)

Rýchlo sa rozvíjajúce odvetvie astronómie je výskum exoplanét. Počet objavených exoplanét a ich systémov stále rastie. Jednou z najrozšírenejších metód výskumu exoplanét je tzv. „metóda tranzitov“. Tranzit je úkaz, kedy sa z nášho pohľadu dostane exoplanéta pred materskú hviezdu a nastane pokles jej jasnosti.

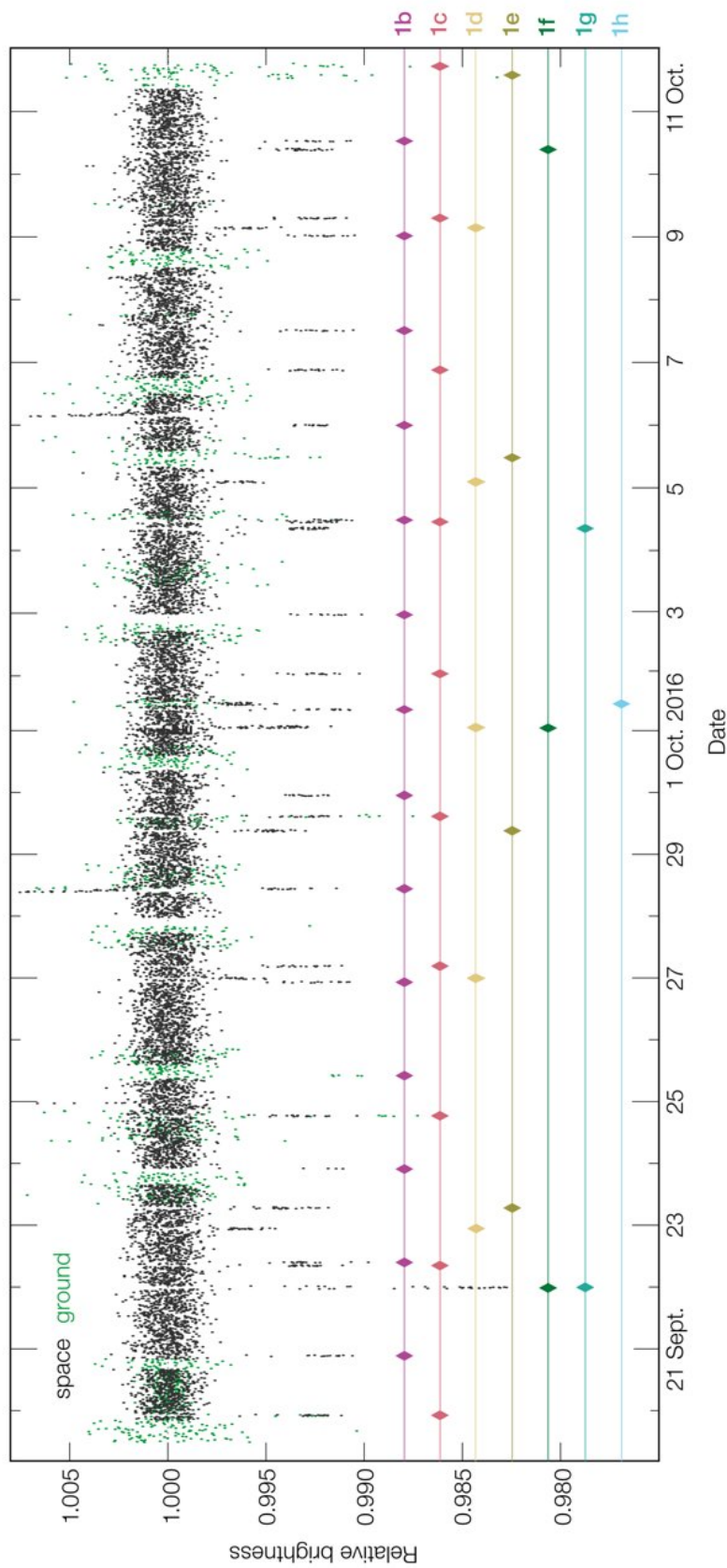
V rokoch 2015/2016 bola objavená planetárna sústava označená ako TRAPPIST-1. Jedná sa o relatívne blízku planetárnu sústavu vo vzdialenosti $d = 12,4 \text{ pc}$, ktorá obsahuje 7 exoplanét. Na priloženom grafe (obr. T4.1 – na samostatnej strane, poznámka typografa) vidíme svetelnú krivku a graf s vyznačenými časmi tranzitov jednotlivých planét (b – h). O materskej hviezde ďalej vieme hmotnosť $M = 0,0898 M_{\odot}$, polomer $R = 0,1192 R_{\odot}$ a maximum vyžarovania má na vlnovej dĺžke $\lambda_{\text{max}} = 1,13 \mu\text{m}$.

Nasledujúce úlohy riešte pre planéty b – g:

- (a) [25 b] Z grafu zistite obežné doby jednotlivých planét okolo materskej hviezdy.
- (b) [35 b] Určte veľké polosy dráh týchto planét.
- (c) [30 b] Pre ďalšie výpočty budete potrebovať poznať povrchovú teplotu hviezdy, preto ju vypočítajte zo zadaných údajov.
- (d) [35 b] Určte žiarivý výkon hviezdy (vyžiarenú energiu za jednotku času celým povrchom hviezdy). Ak ste v predošlej úlohy nezískali teplotu použite hodnotu 3000 K.
- (e) [35 b] Určte ekvivalent solárnej konštanty pre jednotlivé planéty.
- (f) [20 b] Porovnajte „solárne konštanty“ na týchto planétach so solárnou konštantou na Zemi, $k_{\oplus} = 1360 \text{ W m}^{-2}$ a diskutujte, na ktorej planéte by sa mohol vyskytovať život.

(a) Na zistenie obežných periód jednotlivých planét použijeme priloženú svetelnú krivku s označenými tranzitmi jednotlivých planét. Obežná perióda planéty bude doba medzi dvoma po sebe nasledujúcimi tranzitmi. Keďže v grafe nie je mriežka s úplne veľkou presnosťou, určíme si mierku grafu. (Toto riešenie zodpovedá grafu vo formáte A4, pri iných formátoch, prípadne riešení v digitálnej forme, sa môže líšiť.) Najpresnejšie bude merať čo najväčšie vzdialenosti pomocou pravítka (takto eliminujeme chyby).

Odmeraním zistíme, že 21 dní zodpovedá 20 cm (jedná sa o vzdialenosť dvoch najvzdialenejších označených bodov na časovej osi v grafe), a teda pre lepšie využite pri výpočtoch, 1 cm v grafe zodpovedá času 1,05 dní. Toto môžeme ďalej využiť na riešenie, kde sa budeme taktiež snažiť merať čo najväčší počet periód, aby sme predišli chybám. Riešenie si môžeme zapísať do tabuľky. Zmerali sme vzdialenosť dvoch najvzdialenejších tranzitov pre každú planétu a previedli ju na čas pomocou zistenej mierky grafu. Následne samotná obežná perióda je tento čas predelený počtom periód, ktoré počas tohto času prebehli.



Obr. T4.1: Závislosť relatívnej jasnosti na čase v dňoch. Značkami sú vyznačené miesta tranzitov.

Kredit: ESO, M. Gillon et al.

Poznámka typografa: Tento graf je súčasťou zadania.

Tabuľka T4.1: Meranie obežných períód jednotlivých planét. Mierka grafu na prepočet vzdialeností v grafe a časových úsekov je $1 \text{ cm} \leftrightarrow 1,05 \text{ dní}$.

Planéta	Počet períód	Dĺžka [cm]	Čas [deň]	Obežná períóda [deň]	Obežná períóda [s]
b	13	18,7	19,6	1,51	130 000
c	9	20,8	21,8	2,43	210 000
d	4	15,4	16,2	4,04	349 000
e	3	17,4	18,3	6,09	526 000
f	2	17,5	18,4	9,19	794 000
g	1	11,7	12,3	12,3	1 060 000

(b) Na výpočet veľkých polosí planét použijeme 3. Keplerov zákon v úplnom tvare

$$\frac{a^3}{P^2} = \frac{G(M + m)}{4\pi^2}, \quad (\text{T4.1})$$

kde a je veľká polos v metroch, P je obežná períóda v sekundách, $G = 6,674 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$ je gravitačná konštanta a M , m je hmotnosť hviezdy a hmotnosť planéty v kilogramoch. Budeme predpokladať že platí $m \ll M$, a teda hmotnosť planéty môžeme vo vzťahu zanedbať. Následne vieme vyjadriť veľkú polos

$$a = \sqrt[3]{\frac{GMP^2}{4\pi^2}}. \quad (\text{T4.2})$$

Výsledky si môžeme opäť zapísať do malej tabuľky.

Tabuľka T4.2: Tabuľka veľkých polosí jednotlivých planét.
Výsledky sú zapísané v miliardách metrov a astronomických jednotkách.

Planéta	b	c	d	e	f	g
$a [10^9 \text{ m}]$	1,73	2,37	3,33	4,37	5,75	6,98
$a [10^{-2} \text{ au}]$	1,15	1,58	2,22	2,92	3,84	4,67

(c) Teplotu hviezdy určíme na základe Wienovho posunovacieho zákona, ktorý nám udáva vzťah medzi efektívnou povrchovou teplotou hviezdy T a vlnovou dĺžkou λ_{max} , na ktorej má hviezda maximum vyžarovania

$$T \cdot \lambda_{\text{max}} = b = 2,898 \cdot 10^{-3}, \quad (\text{T4.3})$$

odkiaľ si vyjadríme teplotu ako

$$T = \frac{2,898 \cdot 10^{-3}}{\lambda_{\text{max}}} \approx 2560 \text{ K}. \quad (\text{T4.4})$$

(d) Žiarivý výkon hviezdy L určíme pomocou Stefan-Boltzmannovho zákona v tvare

$$L = 4\pi R^2 \sigma T^4, \quad (\text{T4.5})$$

kde R je polomer hviezdy, $\sigma = 5,670 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$ je Stefan-Boltzmannova konštanta a T je povrchová teplota hviezdy. Po dosadení v základných jednotkách dostaneme žiarivý výkon $L \approx 2,12 \cdot 10^{23} \text{ W}$.

(e) Solárna konštanta k je energia z hviezdy, ktorá dopadne na jednotku plochy planéty orientovanej kolmo na lúče za jednu sekundu bez extinkcie (mimo atmosféry). Energia L vyžiarená hviezdou za 1 s sa rovnomerne rozloží na povrch gule s polomerom rovným veľkej polosi dráhy planéty a . Na 1 m^2 dopadá za 1 s energia rovná „solárnej konštante“ k a plocha celej sféry je $4\pi a^2$. Teda

$$L = 4\pi a^2 k, \quad (\text{T4.6})$$

odkiaľ po vyjadrení dostaneme vzťah pre k ,

$$k = \frac{L}{4\pi a^2}. \quad (\text{T4.7})$$

Tabuľka T4.3: Tabuľka „solárnych konštánt“ jednotlivých planét.

Planéta	b	c	d	e	f	g
$k [\text{W m}^{-2}]$	5670	3020	1530	884	511	347

(f) Podmienka pre život na exoplanéte podľa našich doterajších vedomostí je voda v kvapalnom skupenstve, a teda teplota na planéte, pri ktorej sa môže udržať kvapalná voda. Toto môžeme odhadnúť na základe porovnania „solárnej konštanty“ so solárnou konštantou na Zemi. V krajnom prípade môžeme povedať, že obývateľná zóna by mohla byť od dvojnásobku po polovicu zemskej solárnej konštanty, a teda by v nej ležali planéty „d“ a „e“.

Dôležité je si uvedomiť, že nielen dopadajúca energia vplýva na život na planétach. V prípade spomínaných planét môže byť problém blízkosť pri materskej hviezde a vplyv hviezdneho vetra či prípadne radiácie. Takže dôležitú úlohu by zohrala magnetosféra a atmosféra.

Praktická časť

P1 Originálny názov

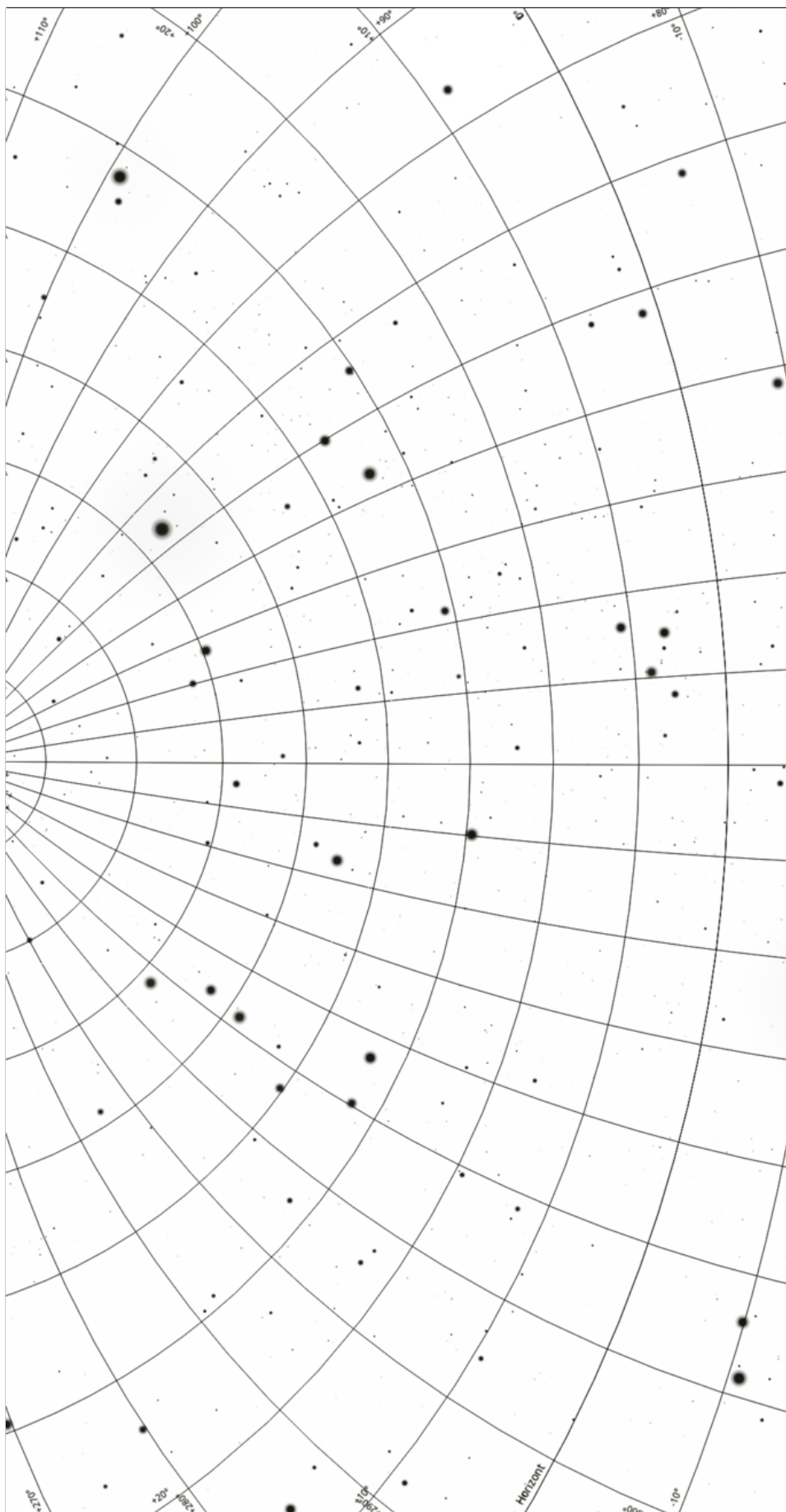
(200b, autor: Jana Švrčková)

- (a) [50b] Určte s presnosťou 5° zemepisnú šírku, pre ktorú bola vytvorená mapa 1 na obrázku P1.1 (*umiestená je na samostatnej strane, poznámka typografa*). Mriežka predstavuje horizontálne súradnice.
- (b) [70b] Určte s presnosťou na pol hodiny miestny hviezdny čas, pre ktorý bola vytvorená mapa 2 na obrázku P1.2 (*umiestená je na samostatnej strane, poznámka typografa*). Mriežka v mape predstavuje rovníkové súradnice a farebná čiara v strede je meridián.
- (c) [80b] Na mape 2 je tiež zakreslený Mars počas opozície. Určte dátum, teda deň a mesiac, kedy k opozícii došlo (tolerancia je ± 2 dni).

(a) Využijeme známy fakt, že deklinácia Polárky je približne 90° , takže výška Polárky nad obzorom sa vďaka tomu zhruba rovná zemepisnej šírke miesta pozorovania. Na mape 1 na obrázku P1.1 je Polárka takmer vo výške 30° , čiže aj zemepisná šírka je zhruba 30° (zadanie požaduje presnosť 5° , preto si môžeme dovoliť takto zaokrúhľovať).

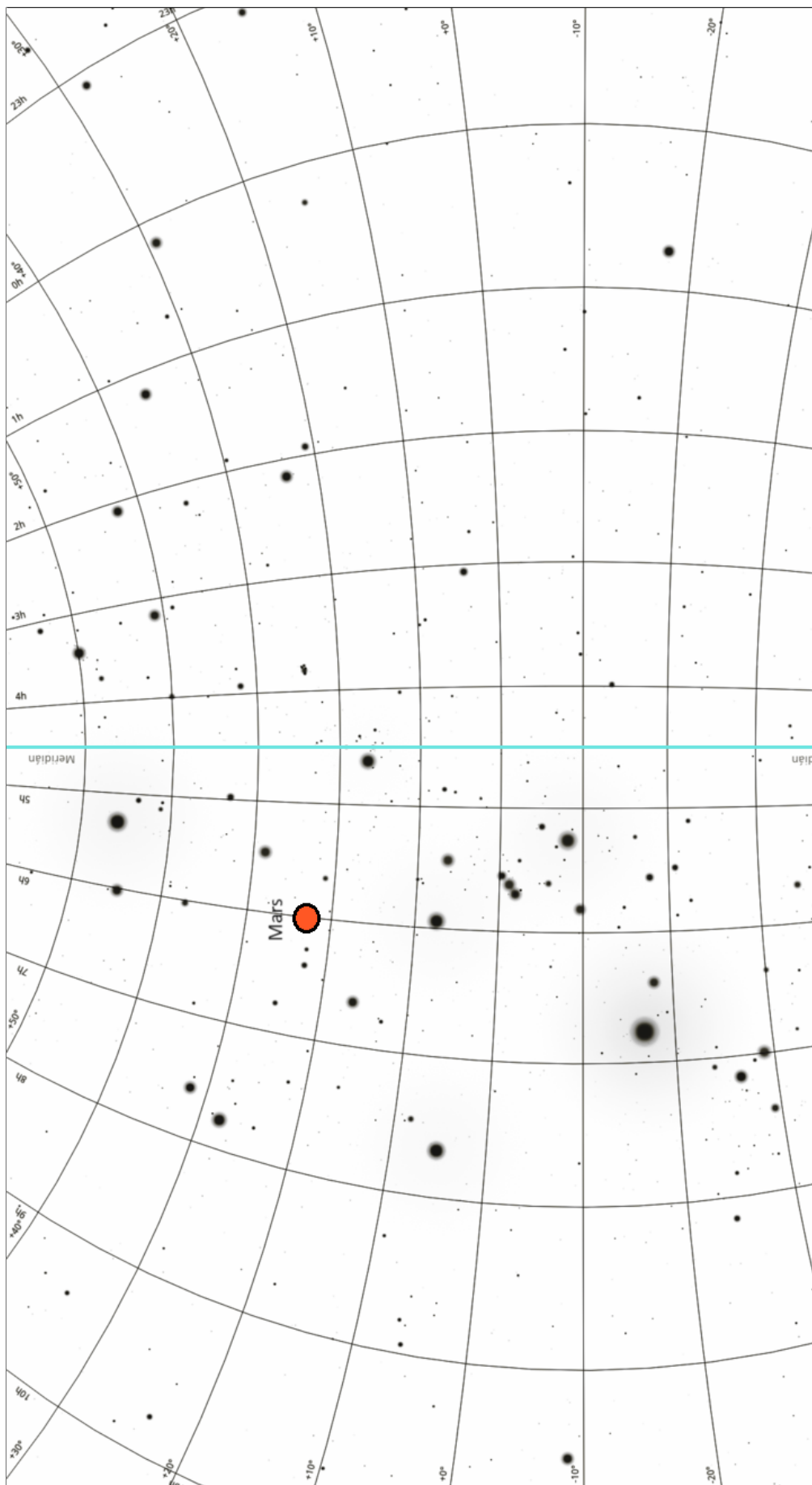
(b) Meridián prechádza zhruba cez rektascenziu $4^h 30^{\min}$, to znamená, že hviezdy s touto rektascenziou majú hodinový uhol rovný 0^h . Miestny hviezdny čas vypočítame ako súčet rektascenzie a príslušného hodinového uhla, v tomto prípade to teda je $4^h 30^{\min} + 0^h = 4^h 30^{\min}$.

(c) Mars sa nachádza takmer presne v letnom slnovratnom bode. Je v opozícii, čo znamená, že sa na oblohe nachádza presne na opačnej strane oproti Slnku. Preto Slnko musí byť v zimnom slnovratnom bode. Takže k opozícii Marsu došlo počas zimného slnovratu, ktorý zvyčajne nastáva 21. decembra.



Obr. P1.1: Mapa 1.

Poznámka typografa: Táto mapa je súčasťou zadania.



Obr. P1.2: Mapa 2.

Poznámka typografa: Táto mapa je súčasťou zadania.

Zoznam konštánt (ZŠ)

Základné konštanty

rýchlosť svetla vo vákuu	$c = 299\,792\,458\,\text{m s}^{-1}$
gravitačná konštanta	$G = 6,674 \cdot 10^{-11}\,\text{m}^3\,\text{kg}^{-1}\,\text{s}^{-2}$
elementárny elektrický náboj	$e = 1,602 \cdot 10^{-19}\,\text{C}$
Stefanova-Boltzmannova konštanta	$\sigma = 5,670 \cdot 10^{-8}\,\text{W m}^{-2}\,\text{K}^{-4}$
Wienova posunovacia konštanta	$b = 2,898 \cdot 10^{-3}\,\text{m K}$
Hubble-Lemaîtreova konštanta	$H_0 = 70\,\text{km s}^{-1}\text{Mpc}^{-1}$

Astronomické jednotky

stredný slnečný deň	deň = 24 h
siderický (hviezdny) deň	deň ^(sid) = 23 h 56 min 4,1 s
juliánsky rok	rok = 365,25 dní
astronomická jednotka	au = 149 597 870 700 m
svetelný rok	ly = 63 241 au
parsek	pc = 3,262 ly

Slnečná sústava

polomer Slnka	$R_{\odot} = 6,957 \cdot 10^8\,\text{m}$
hmotnosť Slnka	$M_{\odot} = 1,989 \cdot 10^{30}\,\text{kg}$
svietivosť (žiarivý výkon) Slnka	$L_{\odot} = 3,828 \cdot 10^{26}\,\text{W}$
povrchová (efektívna) teplota Slnka	$T_{\odot} = 5772\,\text{K}$
zdanlivá magnitúda Slnka	$m_{\odot} = -26,74\,\text{mag}$
absolútna magnitúda Slnka	$M_{\odot}^{(\text{mag})} = 4,83\,\text{mag}$
excentricita dráhy Zeme	$e_{\oplus} = 0,0167$
polomer Mesiaca	$R_{\zeta} = 1737\,\text{km}$
hmotnosť Mesiaca	$M_{\zeta} = 7,4377 \cdot 10^{22}\,\text{kg}$
veľká poloos dráhy Mesiaca	$a_{\zeta} = 3,844 \cdot 10^8\,\text{m}$
siderická obežná doba Mesiaca	$P_{\zeta,\text{si}} = 27,32\,\text{dní}$
synodická obežná doba Mesiaca	$P_{\zeta,\text{sy}} = 29,53\,\text{dní}$

planéta	polomer	hmotnosť	veľká polos dráhy
Merkúr	$R_{\text{M}} = 2440\,\text{km}$	$M_{\text{M}} = 3,302 \cdot 10^{23}\,\text{kg}$	$a_{\text{M}} = 0,387\,\text{au}$
Venuša	$R_{\text{V}} = 6052\,\text{km}$	$M_{\text{V}} = 4,867 \cdot 10^{24}\,\text{kg}$	$a_{\text{V}} = 0,723\,\text{au}$
Zem	$R_{\oplus} = 6378\,\text{km}$	$M_{\oplus} = 5,974 \cdot 10^{24}\,\text{kg}$	$a_{\oplus} = 1\,\text{au}$
Mars	$R_{\text{S}} = 3393\,\text{km}$	$M_{\text{S}} = 6,417 \cdot 10^{23}\,\text{kg}$	$a_{\text{S}} = 1,524\,\text{au}$
Jupiter	$R_{\text{J}} = 69\,911\,\text{km}$	$M_{\text{J}} = 1,898 \cdot 10^{27}\,\text{kg}$	$a_{\text{J}} = 5,204\,\text{au}$
Saturn	$R_{\text{S}} = 58\,232\,\text{km}$	$M_{\text{S}} = 5,683 \cdot 10^{26}\,\text{kg}$	$a_{\text{S}} = 9,583\,\text{au}$
Urán	$R_{\text{U}} = 25\,362\,\text{km}$	$M_{\text{U}} = 8,681 \cdot 10^{25}\,\text{kg}$	$a_{\text{U}} = 19,191\,\text{au}$
Neptún	$R_{\text{N}} = 24\,764\,\text{km}$	$M_{\text{N}} = 1,024 \cdot 10^{26}\,\text{kg}$	$a_{\text{N}} = 30,069\,\text{au}$