



Krajské kolo 2024/25, kategorie EF (8. a 9. třída ZŠ) – řešení

A Přehledový test (online)

(max. 30 bodů)

POKYNY: Úvodní test se řeší online na <https://olympiada.astro.cz>. Přihlašovací údaje získají úspěšní řešitelé školního kola e-mailem. Velmi doporučujeme řešení testu neodkládat na poslední dny před uzávěrkou. U problémů s řešením testu oznámených po **14. 3. 2025** bohužel nemůžeme zaručit jejich včasné vyřízení. U každé otázky vyberte **právě jednu** správnou odpověď. Za správnou odpověď je **1 bod**. V případě špatné nebo žádné odpovědi je za otázku 0 bodů.

1. Který význačný bod NELEŽÍ na horizontu?

- [a] východní bod
- [b] **zenit**
- [c] západní bod
- [d] jižní bod

2. V 6 hodin hvězdného času

- [a] kulminuje jarní bod.
- [b] kulminuje podzimní bod.
- [c] **je jarní bod v západním bodu.**
- [d] je jarní bod ve spodní kulminaci.

3. Ve kterých bodech se protíná projekce nebeského rovníku a ekliptiky?

- [a] jižní a severní bod
- [b] východní a západní bod
- [c] **jarní a podzimní bod**
- [d] zenit a nadir

4. Jak se jmenoval měsíc z mise DART?

- [a] **Dimorphos**
- [b] Europa
- [c] Pollux
- [d] Ceres

5. Nejsilnější a největší magnetické pole z planet Sluneční soustavy má

- [a] Země.
- [b] Venuše.
- [c] **Jupiter.**
- [d] Saturn.

6. Když nastává prstencové zatmění Slunce, je Měsíc

- [a] **v uzlu a apogeu.**
- [b] v úplňku.
- [c] v apogeu a první čtvrti.
- [d] v uzlu a perigeu.

7. Jádru komety má velikost asi

- [a] **20 km.**
- [b] 2 000 km.
- [c] 20 000 km.
- [d] 2 000 000 km.

8. Na severní obloze NENAJDEME hvězdu

- [a] Aldebaran.
- [b] Vega.
- [c] Algol.
- [d] **Hadar.**

9. Při rovnodennosti se Slunce nachází na

- [a] **nebeském rovníku.**
- [b] obratníku Raka.
- [c] obratníku Kozoroha.
- [d] 90° ekliptikální délky.

10. Saturnovy prstence se skládají

- [a] z kamene.
- [b] **z vodního ledu.**
- [c] z prachu.
- [d] z plynu.

11. Vltavín je

- [a] železný meteorit.
- [b] chondrit.
- [c] **tektit.**
- [d] bolid.



Krajské kolo 2024/25, kategorie EF (8. a 9. třída ZŠ) – řešení

12. Které pohoří na Měsíci NENA-JDEME?

- [a] Alpy
- [b] Jura
- [c] Kavkaz
- [d] **Himálaj**

13. Reliktní záření pozorujeme

- [a] v oblasti viditelného světla.
- [b] **v mikrovlnné oblasti.**
- [c] v UV oblasti.
- [d] v rádiové oblasti.

14. Otevřená hvězdokupa

- [a] je starší než kulová hvězdokupa.
- [b] obsahuje více než milion hvězd.
- [c] je seskupení galaxií.
- [d] **je seskupení hvězd přibližně stejného stáří.**

15. Meteoroid je

- [a] **těleso větší než zrnko prachu a menší než planetka.**
- [b] světelný jev vznikající při průletu tělesa atmosférou Země.
- [c] těleso mimozemského původu, které dopadne na zemi.
- [d] meteor jasnější než Venuše.

16. Při letním slunovratu se Měsíc nacházel v podzimním bodě. V jaké byl fázi?

- [a] **v první čtvrti**
- [b] v poslední čtvrti
- [c] v novu
- [d] v úplňku

17. Maximální hmotnost hnědého trpaslíka je

- [a] 0,8 hmotnosti Slunce.
- [b] **80 hmotností Jupiteru.**
- [c] 8 hmotností Slunce.
- [d] 0,8 hmotnosti Jupiteru.

18. Nejstarším materiálem ve Sluneční soustavě jsou

- [a] planety.
- [b] planetky.
- [c] **chondrity.**
- [d] železné meteority.

19. Při přechodu hvězdy z hlavní posloupnosti do fáze obra

- [a] **roste teplota v nitru hvězdy a klesá její povrchová teplota.**
- [b] klesá teplota v nitru hvězdy a roste její povrchová teplota.
- [c] roste teplota v nitru hvězdy a roste její povrchová teplota.
- [d] klesá teplota v nitru hvězdy a klesá její povrchová teplota.

20. Pokud dojde k překročení Chandrasekharovy meze,

- [a] vznikne černá díra.
- [b] vznikne bílý trpaslík.
- [c] vznikne hnědý trpaslík.
- [d] **vznikne neutronová hvězda.**

21. Hvězdy typu OB najdeme převážně

- [a] v kulových hvězdokupách.
- [b] **v otevřených hvězdokupách.**
- [c] blíže než 10 světelných roků od Slunce.
- [d] v galaktickém halo.

22. Naše Slunce v závěrečné fázi skončí jako

- [a] hnědý trpaslík.
- [b] **bílý trpaslík.**
- [c] neutronová hvězda.
- [d] žlutý trpaslík.

23. Planetu Merkur můžeme nejlépe pozorovat

- [a] v poledne.
- [b] **brzy po západu nebo před východem Slunce.**
- [c] v pozdních nočních hodinách.
- [d] o půlnoci.

Krajské kolo 2024/25, kategorie EF (8. a 9. třída ZŠ) – řešení**24. Výraz „absorpce“ označuje**

- [a] svit (např. u hvězdy).
- [b] **pohlčení (např. u záření).**
- [c] emisi (např. fotonu nebo elektronu).
- [d] odrazivost (např. u povrchu planety).

25. Díky jakému jevu můžeme vidět ze Země více než 50 % povrchu Měsíce?

- [a] konjunkci
- [b] sublimaci
- [c] **libraci**
- [d] anihilaci

26. Jak stará může být planetární mlhovina?

- [a] až milion let
- [b] až miliardu let
- [c] **až 10 000 let**
- [d] až 100 000 let

27. Fáze ze Země můžeme pozorovat

- [a] u Měsíce, Jupiteru a Merkuru.
- [b] **u Merkuru, Venuše a Měsíce.**
- [c] pouze u Měsíce.
- [d] pouze u vnějších planet.

28. Jak se jmenuje sonda ESA, která je určená pro výzkum Jupiterových měsíců?

- [a] **JUICE**
- [b] Voyager 2
- [c] Sputnik
- [d] Falcon

29. Kde nikdy NEBYLA vybudována bolidová síť pro pozorování meteorů?

- [a] v Austrálii
- [b] v Evropě
- [c] v USA
- [d] **v Antarktidě**

30. Velikost bílého trpaslíka je přibližně

- [a] 100 km.
- [b] 1 000 km.
- [c] **10 000 km.**
- [d] 100 000 km.

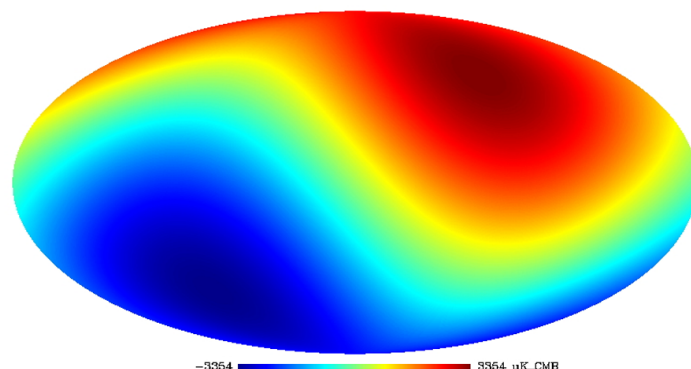
B CMB*(max. 25 bodů)*

Kosmické mikrovlnné pozadí (anglicky *Cosmic Microwave Background*, zkráceně CMB) je záření, které se uvolnilo asi 380 000 let po velkém třesku. Tehdy se teplota vesmíru snížila natolik, že se hmota stala průhlednou pro záření. Fotony CMB se od té doby pohybují volně vesmírem. Jak prozkoumáme v této úloze, pohyb Země vzhledem k CMB způsobuje, že záření má přibližně tzv. dipólový charakter: to znamená, že na jedné straně oblohy je jeho teplota větší než na opačné. Navíc v něm (i po odečtení mikrovlnného záření naší Galaxie) pozorujeme drobné fluktuace. Ty odrážejí nerovnoměrné rozložení hmoty v době vzniku CMB.

V této úloze se zaměříme pouze na zmíněný dipólový charakter. Z dat družice Planck (viz obrázek 1) víme, že CMB můžeme s velkou přesností pokládat za záření absolutně černého tělesa o střední teplotě $T_0 = 2,725\,5\text{ K}$. Ve skutečnosti však můžeme v důsledku pohybu Země vzhledem k CMB v různých částech oblohy naměřit teplotu, která se od střední hodnoty T_0 může lišit až o hodnotu $\Delta T = 3,354\text{ mK}$. Z teploty záření můžeme zjistit jeho vlnovou délku, tedy vzdálenost dvou sousedních vrcholů elektromagnetické vlny. Mezi vlnovou délkou záření a jeho teplotou existuje vztah známý jako Wienův posunovací zákon, podle kterého je vlnová délka maxima vyzařování nepřímo úměrná jeho teplotě, tedy $\lambda = \frac{b}{T}$. Konstanta úměrnosti b má hodnotu $b = 2,898 \cdot 10^{-3}\text{ m} \cdot \text{K}$.

a) Jaká je maximální a minimální vlnová délka maxima vyzařování CMB?

Krajské kolo 2024/25, kategorie EF (8. a 9. třída ZŠ) – řešení



Obrázek 1: Dipólový člen CMB v teplotách.

Nejprve si vyjádříme maximální a minimální teploty CMB

$$T_{\max} = T_0 + \Delta T,$$

$$T_{\min} = T_0 - \Delta T.$$

Dosazením do Wienova posunovacího zákona je přepočítáme na vlnové délky. Uvědomíme-li si, že kvůli nepřímé úměrnosti bude maximální teplota odpovídat minimální vlnové délce a minimální teplota naopak maximální vlnové délce, můžeme psát

$$\lambda_{\max} = \frac{b}{T_{\min}} = \frac{b}{T_0 - \Delta T},$$

$$\lambda_{\min} = \frac{b}{T_{\max}} = \frac{b}{T_0 + \Delta T}.$$

Číselně dostaneme $\lambda_{\max} \doteq 1,065 \text{ mm}$ a $\lambda_{\min} \doteq 1,062 \text{ mm}$.

Dipólový charakter CMB je způsoben Dopplerovým jevem. Ten dobře známe i z běžného života. Pokud se k nám například přibližuje sanitka, slyšíme její sirénu na vyšším tónu než normálně, naopak když se vzdaluje, slyšíme tón hlubší. Vyšší tón znamená, že se nám za stejnou dobu vychýlí blána ušního bubínku vícekrát. V daném místě se tedy rychleji mění tlak vzduchu, což znamená, že zvukové vlnění má kratší vlnovou délku. Světlo se sice šíří odlišným mechanismem než zvuk, protože se jedná o vlnění elektrického a magnetického pole a nikoliv tlaku částic, Dopplerův jev u něj ale funguje obdobně.

b) Zakroužkuj správnou možnost. Pozorujeme-li, že je spektrum objektu posunuté k modřejší části spektra než jeho laboratorní spektrum, znamená to, že se objekt

přibližuje.

vzdaluje.

Konkrétně pro zdroj světla o laboratorní vlnové délce λ_0 vzdalující se rychlostí o velikosti v můžeme pro pozorovanou vlnovou délku λ psát

$$\frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0} = \frac{v}{c},$$

kde c je rychlost světla.

Krajské kolo 2024/25, kategorie EF (8. a 9. třída ZŠ) – řešení

c) Vypočítej velikost rychlosti, kterou se Země vzhledem k CMB pohybuje. Specifikuj i směr rychlosti.

Velikost rychlosti jednoduše vyjádříme ze vztahu pro Dopplerův jev

$$v = c \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0} = c \frac{\lambda_{\max} - \lambda_0}{\lambda_0}.$$

Laboratorní vlnová délka λ_0 je v tomto případě střední vlnová délka CMB, kterou můžeme vyjádřit ze střední teploty T_0 jako

$$\lambda_0 = \frac{b}{T_0}.$$

Pro velikost rychlosti tedy máme

$$v = c \frac{\frac{b}{T_0 - \Delta T} - \frac{b}{T_0}}{\frac{b}{T_0}} = c \frac{\frac{bT_0}{T_0(T_0 - \Delta T)} - \frac{b(T_0 - \Delta T)}{T_0(T_0 - \Delta T)}}{\frac{b(T_0 - \Delta T)}{T_0(T_0 - \Delta T)}} = c \frac{\Delta T}{T_0 - \Delta T}.$$

Číselně dostaneme $v = 0,001\,23c \doteq 369\text{ km/s}$, a to směrem, ve kterém je pozorovaná vlnová délka CMB nejkratší a teplota nejvyšší.

d) S pomocí internetu vyhledej a napiš přibližné hodnoty velikosti rychlostí následujících pohybů (nezapomeň ke každému údaji uvést zdroj; nástroje umělé inteligence se jako spolehlivé zdroje nepočítají a její využití je dle pravidel AO zakázáno): pohyb Země kolem Slunce, pohyb Slunce kolem galaktického středu, pohyb naší Galaxie vzhledem k jiným galaxiím v Místní skupině (konkrétně vyhledej velikost rychlosti vzhledem ke Galaxii v Andromedě), pohyb celé Místní skupiny vzhledem k Místní nadkupě galaxií. Který z pohybů k vypočtené rychlosti vzhledem k CMB přispívá nejvíce?

Jednotlivé velikosti rychlosti jsou přibližně následující.

- pohyb Země kolem Slunce: 30 km/s (např. <https://cs.wikipedia.org/wiki/Země>).
- pohyb Slunce kolem středu Galaxie: 230 km/s (např. <https://www.astro.cz/clanky/hvezdy/gaia-upresnila-rychlost-obehu-slunce-a-jeho-vzdalenost-od-stredu-galaxie.html>).
- pohyb Galaxie vzhledem ke Galaxii v Andromedě: 110 km/s (např. <https://doi.org/10.1038/nature.2012.10765>).
- pohyb Místní skupiny vzhledem k nadkupě galaxií: přibližně 400 km/s (např. https://imagine.gsfc.nasa.gov/features/cosmic/local_supercluster_info.html).

Vidíme tedy, že největší význam má pohyb Místní skupiny jako celku.

CMB má nejkratší vlnovou délku na galaktických souřadnicích $b = 48,4^\circ$ a $l = 264^\circ$.

e) Napiš IAU zkratku souhvězdí, ve kterém se nachází apex, tedy bod, ke kterému se Sluneční soustava vzhledem k CMB pohybuje. Jaká je zkratka souhvězdí, kde se nachází antiapex? Můžeš využít například *Stellarium*.

Krajské kolo 2024/25, kategorie EF (8. a 9. třída ZŠ) – řešení

Apex odpovídá právě bodu, kde je vlnová délka CMB nejmenší. Ve Stellariu tedy zapneme hranice souhvězdí, najdeme galaktické souřadnice ze zadání a zjistíme, že apex je v souhvězdí Poháru (zkratka Cra), velice blízko hranici se Lvem (zkratka Leo). Antia-pex se bude nacházet přesně na opačné straně oblohy, tedy na galaktických souřadnicích $b = -48,4^\circ$ a $l = 84^\circ$. To je v souhvězdí Ryb (zkratka Psc).

C Limity pozorování*(max. 25 bodů)*

a) Hlavní pás planetek leží v oblasti mezi Marsem a Jupiterem a čítá přes milion malých těles Sluneční soustavy. Obvykle se za jeho hranice považují tzv. Kirkwoodovy mezery, které odpovídají rezonancím 4:1 a 2:1 s Jupiterem. Vyhledej a napiš, jaké hlavní poloosy planetek těmito rezonancím odpovídají. Uveď je v au s přesností na setiny. Nezapomeň uvést zdroj.

2,06 au a 3,27 au (zdroj: Wikipedie – Kirkwoodova mezera)

b) Planetky ani planety nezáří vlastním světlem, ale jen ho odrážejí od Slunce. Vyhledej v tabulkách AO zářivý výkon Slunce $L_\odot$. Pak spočítej tzv. „sluneční konstantu“, tj. jaká část tohoto výkonu projde plochou 1 m^2 ve vzdálenosti $d = 1 \text{ au}$ od Slunce. Výsledek uveď ve W/m^2 , zaokrouhlený na celé číslo. *Nápověda: Slunce vyzařuje do sférické oblasti okolo sebe. Výkon na jednotku plochy proto musí klesat se vzdáleností stejně rychle jako se povrch této sférické oblasti zvětšuje.*

$$L_\odot = 3,828 \cdot 10^{26} \text{ W} \quad \text{a} \quad 1 \text{ au} = 1,496 \cdot 10^{11} \text{ m}.$$

$$\Phi_Z = \frac{L_\odot}{4\pi d^2} = 1\,361 \text{ W/m}^2$$

(případně $1\,362 \text{ W/m}^2$, pokud je použito $\pi = 3,14$)

c) Jaký celkový zářivý výkon L_N dopadne na povrch Neptunu? Potřebné parametry jsou v tabulkách AO. Pro jednoduchost předpokládej, že výstřednost jeho oběžné dráhy je nulová. Výsledek uveď ve wattech, ve vědeckém formátu (viz literatura AO, https://olympiada.astro.cz/images/ao_text_01_EF.pdf), kde číslo (mezi 1–10) bude zaokrouhleno na 3 desetinná místa. *Nápověda: Planeta je sice sférická, ale díky velkému poměru mezi vzdáleností a velikostí lze předpokládat, že na ni světlo dopadá jako na kotouček. Lze postupovat například i tak, že využiješ výsledku z předchozí úlohy.*

Z předchozího příkladu víme: $L_\odot = 3,828 \cdot 10^{26} \text{ W}$.

Z tabulek dále víme: $R_N = 2,476\,4 \cdot 10^7 \text{ m}$,

$d_{S-N} = 30,0 \text{ au} = 30,0 \cdot 1,496 \cdot 10^{11} \text{ m} = 4,488 \cdot 10^{12} \text{ m}$.

Plocha, na kterou se ve vzdálenosti Neptunu rozprostírá sluneční záření, je $4\pi d_{S-N}^2$. Průřez Neptunu je πR_N^2 .

Dohromady tedy **BUĎ**:

$$L_N = \frac{\pi R_N^2}{4\pi d_{S-N}^2} L_\odot = \frac{(2,476\,4 \cdot 10^7)^2}{4 \cdot (4,488 \cdot 10^{12})^2} \cdot 3,828 \cdot 10^{26} \text{ W} = 2,914 \cdot 10^{15} \text{ W}$$

Krajské kolo 2024/25, kategorie EF (8. a 9. třída ZŠ) – řešení

NEBO:

$$L_N = \frac{\pi R_N^2}{30^2} \Phi_Z = \frac{\pi \cdot (2,4764 \cdot 10^7 \text{ m})^2}{30^2} \cdot 1361 \text{ W/m}^2 = 2,913 \cdot 10^{15} \text{ W}$$

(případně $2,914 \cdot 10^{15} \text{ W}$, pokud je použito $\pi = 3,14$ a $\Phi_Z = 1362 \text{ W/m}^2$)

Pokud planeta (či jiné těleso) světlo odráží, není výpočet její jasnosti úplně jednoduchý, neboť různé části povrchu odrážejí pod jiným úhlem. Pro případ, kdy je planeta v opozici, si však lze pomoci využitím tzv. geometrického albeda (A). Pak lze uvažovat, že velikost odrazivé plochy je kotouček o stejném průřezu, jaký má planeta, a že ve vzdálenosti d od planety bude zářivý výkon roven

$$L \frac{A}{\pi d^2},$$

kde L je zářivý výkon, který na planetu dopadl.

d) Jaký zářivý výkon Neptunem odraženého světla projde na Zemi plochou 1 m^2 , je-li Neptun v opozici? Opět předpokládej, že obě planety obíhají po kružnicích. Výsledek uveď ve W/m^2 , ve vědeckém formátu, kde číslo bude zaokrouhleno na 3 desetinná místa. Geometrické albedo Neptunu je $A_N = 0,442$ (POZOR: použij tuto hodnotu, v tabulkách AO je uveden jiný typ albeda).

Vzdálenost Země od Neptunu je $d_{N-Z} = 29,0 \text{ au} = 29,0 \cdot 1,496 \cdot 10^{11} \text{ m} = 4,338 \cdot 10^{12} \text{ m}$

$$\begin{aligned} \Phi_{N-Z} &= L_N \frac{A_N}{\pi d_{N-Z}^2} = \\ &= 2,914 \cdot 10^{15} \text{ W} \cdot \frac{0,442}{\pi \cdot (4,338 \cdot 10^{12} \text{ m})^2} = 2,179 \cdot 10^{-11} \text{ W/m}^2 \end{aligned}$$

($2,179 \cdot 10^{-11} \text{ W/m}^2$ až $2,180 \cdot 10^{-11} \text{ W/m}^2$ v závislosti na hodnotě π a L_N)

e) Nyní si představ, že máš dalekohled, se kterým můžeš limitně vidět planetu Neptun v opozici. Bude stejným dalekohledem možné pozorovat planetku z hlavního pásu, která obíhá po kruhové dráze, je také v opozici, má kulový tvar, průměr 100 km a geometrické albedo $A_p = 0,13$?

Nápověda: Využij rovnic z předchozích příkladů.

Planetka má velikost $2R_p = 100 \text{ km} = 100\,000 \text{ m}$, tedy $R_p = 50\,000 \text{ m}$.

Zaměřme se nejprve na planetku z vnitřní části hlavního pásu, neboť bude odrážet víc. Pokud ani ta nebude vidět, je výsledek jasný. Vzdálenosti tedy jsou:

$$d_{S-p} = 2,06 \text{ au} = 3,082 \cdot 10^{11} \text{ m}$$

$$d_{p-Z} = d_{S-p} - 1 \text{ au} = 1,06 \text{ au} = 1,586 \cdot 10^{11} \text{ m}$$

$$L_p = \frac{\pi R_p^2}{4\pi d_{S-p}^2} L_\odot$$

$$\Phi_{p-Z} = L_p \frac{A_p}{\pi d_{p-Z}^2} = \frac{R_p^2 A_p}{4\pi d_{S-p}^2 d_{p-Z}^2} L_\odot$$

Krajské kolo 2024/25, kategorie EF (8. a 9. třída ZŠ) – řešení

$$\Phi_{p-z} = \frac{(50\,000\text{ m})^2 \cdot 0,13 \cdot 3,828 \cdot 10^{26}\text{ W}}{4\pi \cdot (3,082 \cdot 10^{11}\text{ m})^2 \cdot (1,586 \cdot 10^{11}\text{ m})^2} = 4,144 \cdot 10^{-12}\text{ W/m}^2$$

$(4,144 \cdot 10^{-12}\text{ W/m}^2 \text{ až } 4,146 \cdot 10^{-12}\text{ W/m}^2 \text{ v závislosti na hodnotě } \pi)$

Toto je asi pětinová hodnota než od Neptunu, takže ani takto blízkou planetku daných rozměrů a albeda nelze stejným dalekohledem pozorovat.

D Praktická úloha – Pozorování ISS

(max. 20 bodů)

Náš český astronaut brzy poletí na Mezinárodní vesmírnou stanici (ISS), proto jsme pro letošní pozorovací úlohu vybrali právě pozorování přeletů ISS. **Dávej pozor, že tato pozorovací úloha má dvě části – zakreslování do mapy a vyplnění pozorovacího formuláře.**

Podrobné informace o plánovaných přeletech ISS lze získat s dvoutýdenním předstihem např. z webu Heavens Above (<https://heavens-above.com/PassSummary.aspx?satid=25544>). Měj na paměti, že pozorovací úlohu může negativně ovlivnit počasí, proto s pozorováním nečekej až do poslední chvíle před odevzdáním!

a) Ze stránek AO si stáhni soubor `AO_2024_25_EF_2_kolo_mapy.pdf`, který obsahuje 12 stran s mapami oblohy. Všechny tyto mapy jsou vygenerovány pro 50° s.š. a 15° v.d. (měly by tedy rozumně platit pro celou ČR) a jsou v časovém rozmezí jedné hodiny od sebe. Planety, Slunce ani Měsíc na nich nejsou. Ze souboru si vyber jen mapu, která nejlépe odpovídá natočení oblohy v době tvého pozorování, a vytiskni ji. **Pozor, soubor netiskni zbytečně celý!** Do této mapky pak zakresli trajektorii ISS na obloze v den tvého pozorování. Stránku s mapkou pak naskenuj jako **poslední stranu** svého PDF souboru, který budeš odevzdávat.

Ověř si, že odevzdáváš pouze jednu mapku s vlastnoručně zakreslenou trajektorií ISS a dalšími náležitostmi. V případě více naskenovaných map nebude tato část úlohy uznána.

b) Do online formuláře na adrese <https://forms.gle/zgvgNKxJbmjNB7PbA> zaznamenej všechny požadované údaje o pozorování. Postupuj přesně dle instrukcí ve formuláři.