



Finále 2021/22, kategorie EF

A Přehledový test

(max. 30 bodů)

POKYNY: U každé otázky vyber **právě jednu** správnou odpověď. Za správnou odpověď je 1 bod. V případě špatné nebo žádné odpovědi je za otázku 0 bodů.

1. Která planeta má ve své atmosféře největší známý hurikán ve Sluneční soustavě?

- [a] Země
- [b] **Jupiter**
- [c] Neptun
- [d] Saturn

2. Nejteplejší část Slunce je

- [a] koróna.
- [b] **jádro.**
- [c] fotosféra.
- [d] konvektivní zóna.

3. Jeden rok na Merkuru trvá přibližně

- [a] **88 dní.**
- [b] 101 dní.
- [c] 88 hodin.
- [d] 25 dní.

4. Kolik planet Sluneční soustavy má větší měsíc než Země?

- [a] 1
- [b] **2**
- [c] 3
- [d] 4

5. U kterého objektu by mohl dalekohled Jamese Webba pořídít snímek?

- [a] Slunce
- [b] Venuše
- [c] **mlhovina Kočičí oko**
- [d] hvězdokupa Plejády

6. Kde se nachází dalekohled Jamese Webba?

- [a] na nízké oběžné dráze kolem Země
- [b] **v Lagrangeově bodě L₂ soustavy Země–Slunce**
- [c] na geostacionární dráze
- [d] na cestě k planetě Mars a dále do Sluneční soustavy

7. Sonda OSIRIS-REx poslala zpět vzorek horniny z blízkozemního tělesa. O jaké těleso jde?

- [a] **planetka Bennu**
- [b] Měsíc
- [c] tunguzský meteorit
- [d] kometa 67P/Čurjumov–Gerasimenko

8. Při pohledu do 10cm dalekohledu bez použití filtrů určitě uvidíme barevně tento objekt:

- [a] galaxii v Andromedě
- [b] Velkou mlhovinu v Orionu
- [c] Prstencovou mlhovinu
- [d] **Jupiter**

9. Uprostřed planetární mlhoviny velkým dalekohledem většinou objevíme

- [a] **bílého trpaslíka.**
- [b] hvězdu hlavní posloupnosti.
- [c] černou díru.
- [d] neutronovou hvězdu.

10. Co lze odvodit z veličiny zvané „červený posuv“?

- [a] vývojové stádium hvězdy
- [b] vlastní pohyb planety Mars
- [c] **kosmologickou vzdálenost**
- [d] optickou vadu dalekohledu

11. Jak se nazývá diagram, s jehož pomocí můžeme přímo porovnat teplotu a zářivý výkon hvězd?

- [a] motýlkový
- [b] prostoročasový
- [c] **Hertzsprungův–Russellův**
- [d] Maxwellův–Boltzmannův



Finále 2021/22, kategorie EF

12. Co byl Vostok 1?

- [a] první impaktní sonda vyslaná k Měsíci
- [b] tréninkové středisko sovětských kosmonautů
- [c] první meteorologická družice
- [d] **první pilotovaná kosmická loď**

13. Která z planet Sluneční soustavy má nejvíce výstřednou oběžnou dráhu?

- [a] Uran
- [b] Saturn
- [c] Mars
- [d] **Merkur**

14. Z jaké doby po vzniku vesmíru pochází tzv. reliktní záření?

- [a] 10^{-32} sekund
- [b] **300 000 let**
- [c] 300 milionů let
- [d] 1,34 miliard let

15. Kdo jako první roztřídil hvězdy podle jejich jasnosti?

- [a] Galileo
- [b] Ptolemaios
- [c] Archimédés
- [d] **Hipparchos**

16. Proč nevidíme ve viditelném světle centrum Galaxie?

- [a] **Světlo je pohlceno prachem.**
- [b] Centrum Galaxie se vzdaluje nadsvětelnou rychlostí.
- [c] V centru Galaxie je všechno světlo pohlceno černou dírou.
- [d] Centrum Galaxie nevyzařuje žádné světlo.

17. Jakou hodnotu deklinace má jižní nebeský (světový) pól?

- [a] 180°
- [b] 90°
- [c] 0°
- [d] **-90°**

18. Co je to Foucaultovo kyvadlo?

- [a] Kyvadlo, pomocí kterého bylo poprvé změněno gravitační zrychlení na Zemi.
- [b] Označení pro kývavý pohyb Země způsobený vlivem ostatních planet a Měsíce.
- [c] **Experiment, který pomocí kyvadla dokazuje, že se Země otáčí okolo vlastní osy.**
- [d] Název bývalého souhvězdí na jižní obloze, které již není mezi 88 oficiálními.

19. Která z těchto dvojic souhvězdí spolu NESOUSEDÍ?

- [a] Střelec a Kozoroh
- [b] **Andromeda a Beran**
- [c] Herkules a Drak
- [d] Jižní ryba a Vodnář

20. Ve kterém roce byla objevena první planetka (Ceres)?

- [a] 1492
- [b] **1801**
- [c] 1921
- [d] 1925

21. Rovníkové souřadnice 2. druhu jsou určeny

- [a] zeměpisnou šířkou a délkou.
- [b] **rektascenzí a deklinací.**
- [c] rovníkovým průměrem a hodinovým úhlem.
- [d] hodinovým úhlem a deklinací.

22. Který z těchto jevů je nejčastější?

- [a] průlet Halleyovy komety kolem Slunce
- [b] **libovolné zatmění Slunce**
- [c] úplné zatmění Měsíce
- [d] meteorický roj Perseid

23. Které souhvězdí obsahuje hvězdu Atlas?

- [a] **Býk**
- [b] Blíženci
- [c] Herkules
- [d] žádné



Finále 2021/22, kategorie EF

24. Dne 12. května ve 12:50 SELČ se jistá hvězda nalézá v horní kulminaci. V kolik hodin (přibližně) se bude nalézat v horní kulminaci 12. srpna?

- [a] 18:50 SELČ
- [b] **6:50 SELČ**
- [c] 16:50 SELČ
- [d] 13:50 SELČ

25. Co označujeme pojmem „konjunkce“?

- [a] **Situaci, kdy mají dvě nebeská tělesa stejnou rektascenzi.**
- [b] Je to latinský název pro souhvězdí.
- [c] Situaci, kdy je planeta přesně na opačné straně oblohy než Slunce.
- [d] Takové postavení planety, kdy má největší úhlovou vzdálenost od Slunce.

26. Slunce září přibližně jako

- [a] absolutně bílé těleso.
- [b] absolutně žluté těleso.
- [c] absolutně tuhé těleso.
- [d] **absolutně černé těleso.**

27. Kde je planeta na své oběžné dráze vždy nejdále od Slunce?

- [a] v perihéliu
- [b] v jarním bodě
- [c] **v aféliu**
- [d] v opozici

28. Jaká hornina převážně pokrývá povrch Venuše?

- [a] železitá ruda
- [b] hornina obsahující sírany (zejména chalkanit a baryt)
- [c] kalcit (v podobě vápence a mramoru)
- [d] **vulkanická hornina**

29. Symbolem Ω v astronomii označujeme

- [a] jarní bod.
- [b] planetu Uran.
- [c] **délku výstupného uzlu.**
- [d] souhvězdí Vah.

30. Co znamená označení „J2000.0“ u souřadnic objektu?

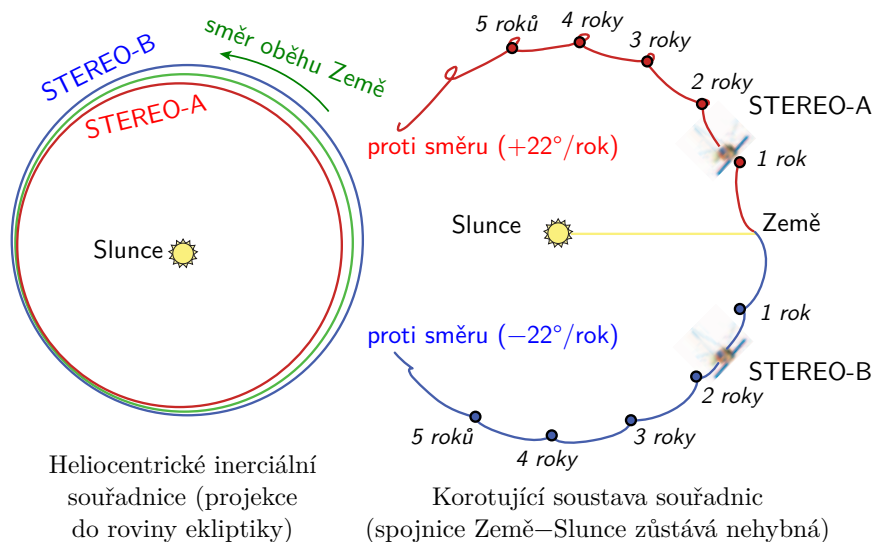
- [a] Souřadnice jsou změřeny s přesností na dvě tisíce obloukové vteřiny.
- [b] **Souřadnice odpovídají poloze objektu dne 1. 1. 2000.**
- [c] Souřadnice pocházejí z roku 2000 (občas se vyskytuje i označení „J1950“, což znamená, že souřadnice byly změřeny v roce 1950).
- [d] Objekt je zaznamenán v atlase *Uranometria* od Johanna Bayera.

Finále 2021/22, kategorie EF

B Stereo zatmění Slunce

(max. 20 bodů)

Dvojice sond STEREO obíhá po podobné oběžné dráze kolem Slunce jako Země, přičemž STEREO-A obíhá blíže než Země a STEREO-B dále. Směr oběhu sond je shodný se směrem oběhu Země, ale každá z nich se pohybuje opačným směrem vzhledem k Zemi, sonda STEREO-A tedy Zemi předchází, sonda Stereo-B za Zemi zaostává. Oběžné dráhy jsou zakresleny na obrázku 1.



Obrázek 1: Znázornění oběžných drah a úhlových rychlostí sond STEREO ve dvou referenčních soustavách.

a) Jak dlouho trvá každé ze sond jeden úplný oběh kolem Slunce? Uveď v rocích s přesností na tři platné číslice.

Sonda STEREO-A Zemi předchází o $22^\circ/\text{rok}$, její úhlová rychlost je tedy $382^\circ/\text{rok}$ a jeden oběh 360° proto vykoná za

$$t_A = 360^\circ / 382^\circ \approx 0,942 \text{ roku}$$

Sonda STEREO-B se za Zemi opožďuje o $22^\circ/\text{rok}$, její úhlová rychlost je tedy $338^\circ/\text{rok}$ a jeden oběh jí trvá

$$t_B = 360^\circ / 338^\circ \approx 1,07 \text{ roku}$$

b) S použitím zadaných hodnot vypočítej s přesností na dny, za jak dlouho se budou obě sondy nacházet přesně na opačné straně od Slunce než Země. Také slovně napiš, který z „roků“ použiješ pro přepočítání na dny.

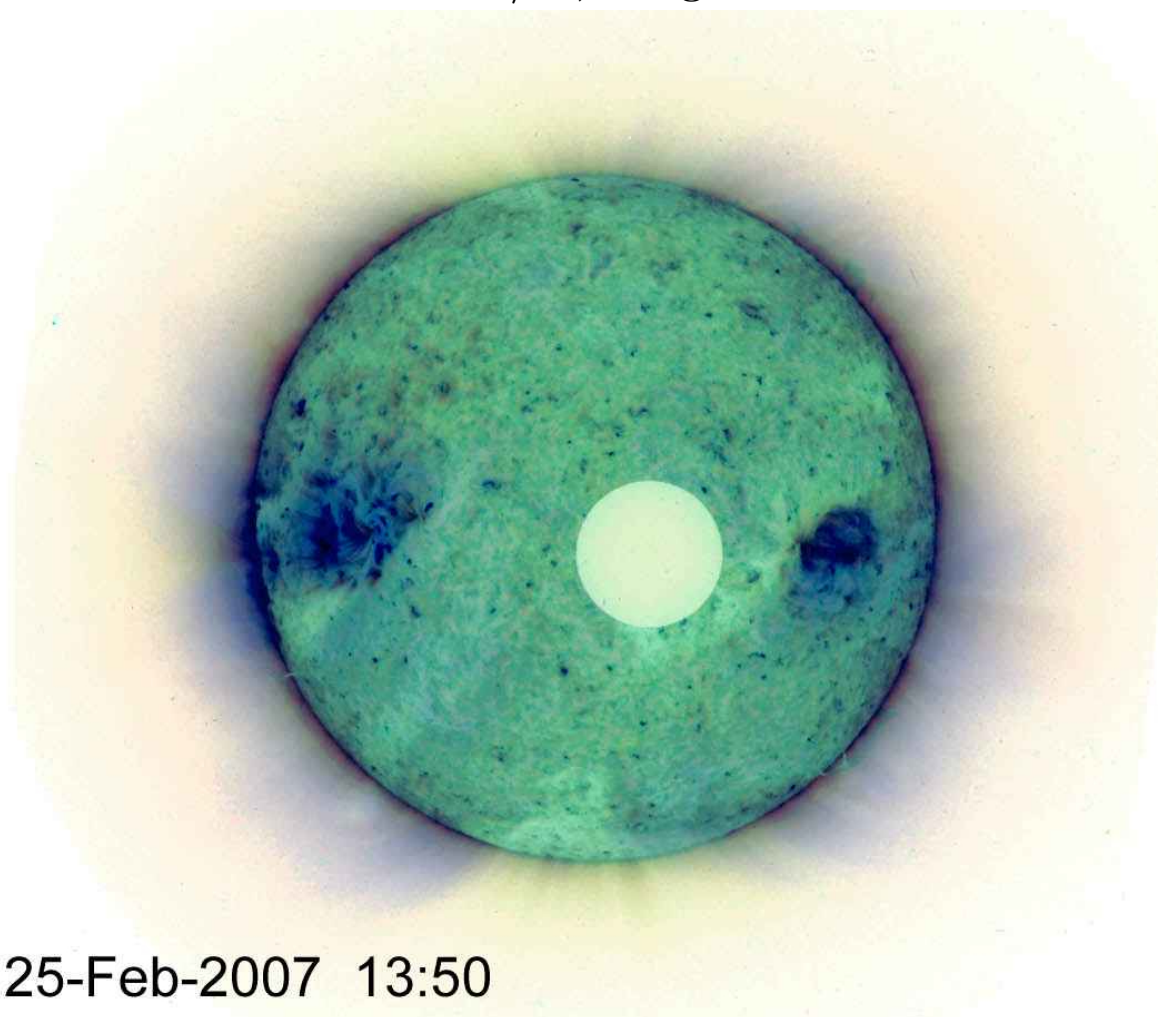
Z obrázku 1 vidíme, že se v korotující soustavě pohybují sondy stejnými úhlovými rychlostmi $\pm 22^\circ/\text{rok}$ v opačném směru. Za Sluncem (úhel 180°) se tedy budou nacházet za čas

$$t = 180^\circ / (22^\circ/\text{rok}) \approx 8,18 \text{ roku}$$

K převodu na dny bychom měli správně použít siderický rok.

$$t = 8,18 \cdot 365,256 \text{ 36 dne} \approx 2988 \text{ dnů}$$

Finále 2021/22, kategorie EF



Obrázek 2: Přejechání Měsíce přes Slunce pozorovaný jednou ze sond STEREO. Obrázek je v inverzních barvách – bílý kotouček je Měsíc, sever je směrem nahoru.

Dne 25. února 2007 jedna ze sond zachytila snímek Měsíce (viz obrázek 2), jak přechází přes sluneční disk.

c) Která z nich to byla a proč?

STEREO-B

Měsíc má na fotografii oproti Slunci zřetelně menší úhlovou velikost, než jak ho známe při pohledu ze Země. Musela to být tedy sonda STEREO-B, která obíhá od Slunce dále než Země.

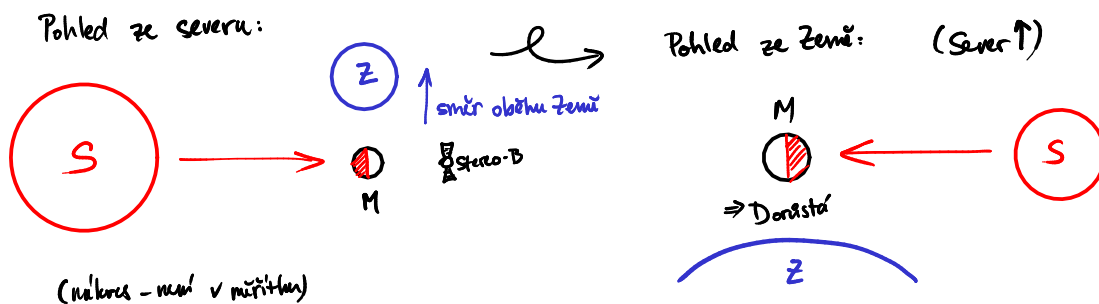
d) V době pořízení fotografie byla sonda, Měsíc, Země i Slunce v jedné rovině. V jaké ze 4 fází (nov / první čtvrt / úplňk / poslední čtvrt) byl v tu dobu Měsíc? Krátce vysvětli. *Nápověda: Může ti pomoci, když si situaci načrtněš.*

V první čtvrti

Kdyby byl Měsíc v úplňku nebo novu, Země by ho na obrázku překryla, neboť předpokládáme, že všechna tělesa byla v jedné rovině. Měsíc tedy musel buď dorůstat nebo

Finále 2021/22, kategorie EF

couvat. Z předchozího bodu však víme, že snímek pořídila sonda STEREO-B, která obíhá za Zemí. Jak je patrné z nákresu osvětlení Měsíce, musel být v první čtvrti.



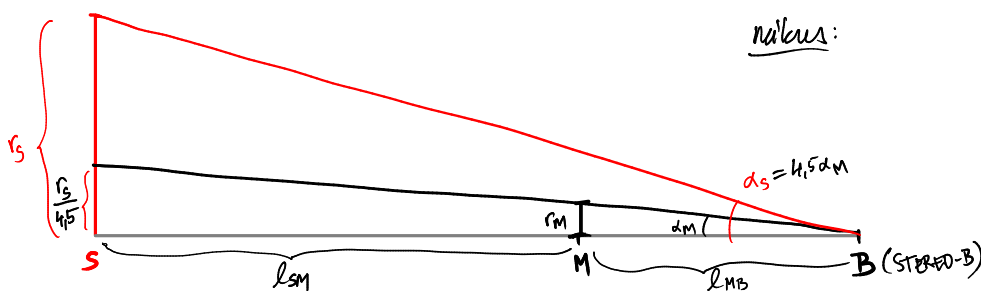
e) Vypočítej, jak daleko se v době pořízení snímku nacházela sonda, která pořídila snímek, od Měsíce. Výsledek uveď v km s přesností na desetitisíce km. *Nápověda: Může ti pomoci, když si situaci načrtněš.*

Zjistili jsme, že Měsíc byl v poslední čtvrti, jeho vzdálenost od Slunce je tedy přesně rovná $l_{SM} = 1 \text{ au} \approx 1,496 \cdot 10^8 \text{ km}$ (viz tabulky AO).

Změříme průměr Slunce a Měsíce z fotografie (rozmezí uznatelných hodnot je $\pm 1 \text{ mm}$):

$$d_S = 90 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}, \quad d_M = 19 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$$

Poměr jejich úhlových velikostí je vzhledem k přesnosti měření: $d_S/d_M = 4,5$ až $5,1$



Z podobnosti trojúhelníků v nákresu vidíme vztah mezi skutečnými poloměry těles (r) a jejich vzdálenostmi (l):

$$\frac{r_M}{l_{MB}} = \frac{r_S}{4,5(l_{SM} + l_{MB})}$$

Po úpravách dostaneme: (s minimální hodnotou 4,5)

$$l_{MB} = \frac{4,5 r_M l_{SM}}{r_S - 4,5 r_M} = \frac{4,5 \cdot 1738 \text{ km} \cdot 1,496 \cdot 10^8 \text{ km}}{6,96 \cdot 10^5 \text{ km} - 4,5 \cdot 1738 \text{ km}} \approx 1,70 \cdot 10^6 \text{ km}$$

(s maximální hodnotou 5,1)

$$l_{MB} = \frac{5,1 \cdot 1738 \text{ km} \cdot 1,496 \cdot 10^8 \text{ km}}{6,96 \cdot 10^5 \text{ km} - 5,1 \cdot 1738 \text{ km}} \approx 1,93 \cdot 10^6 \text{ km}$$

Sonda STEREO-B se nacházela ve vzdálenosti 1,70 (až 1,93, vzhledem k přesnosti měření) milionu km od Měsíce.



Finále 2021/22, kategorie EF

C Nová Země?

(max. 20 bodů)

S rostoucím počtem objevených exoplanet roste i šance, že některá z nich bude hostit život. Jedním z kandidátů je planeta ze systému TRAPPIST-1 – systém sedmi planet vzdálený 12 pc, které obíhají okolo mimořádně chladného červeného trpaslíka. Jejich parametry jsou v tabulce 1.

planeta	hlavní poloosa, a [au]	oběžná doba, T [dny]	poloměr, R [R_{\oplus}]
TRAPPIST-1b	$1,15 \cdot 10^{-2}$	1,511	1,121
TRAPPIST-1c	$1,58 \cdot 10^{-2}$	2,422	1,095
TRAPPIST-1d	$2,23 \cdot 10^{-2}$	4,050	0,784
TRAPPIST-1e	$2,93 \cdot 10^{-2}$	6,099	0,910
TRAPPIST-1f	$3,85 \cdot 10^{-2}$	9,206	1,046
TRAPPIST-1g	$4,69 \cdot 10^{-2}$	12,354	1,148
TRAPPIST-1h	$6,19 \cdot 10^{-2}$	18,778	0,773

Tabulka 1: Parametry planet v systému TRAPPIST-1.

a) Předpokládejme, že jsou exoplanety kulovitěho tvaru a že hvězda osvětluje vždy celou přivrácenou polokouli. Na každou exoplanetu tedy dopadá část hvězdného záření, která závisí na poměru plochy průřezu exoplanety a povrchu koule s poloměrem rovným vzdálenosti exoplanety od hvězdy. Vyjádři proto obecným vzorcem, ve kterém bude vystupovat poloměr exoplanety (R), jaký je obsah průřezu exoplanety (označ ho S_p).

Jedná se o obsah kruhu, tj. plocha je $S_p = \pi R^2$.

b) Každá exoplaneta též vyzařuje energii ve formě tepelného záření z celého svého povrchu pryč do všech směrů. Vyjádři opět obecným vzorcem, závislým na poloměru exoplanety (R), jak velkou plochou exoplaneta vyzařuje (označ ji S_v).

Jedná se o povrch koule, tj. plocha je $S_v = 4\pi R^2$.

Základní podmínkou života, jaký známe, je voda. Pokud by exoplaneta obíhala moc blízko hvězdy, voda by se vypařila. Kdyby exoplaneta obíhala moc daleko, voda by zmrzla. Abychom zjistili, která exoplaneta je v obyvatelné zóně, budeme vycházet z toho, že se pohlcená a vyzářená energie rovnají, neboli

$$S_v \sigma T^4 = \frac{S_p}{4\pi d^2} \alpha L.$$

Vlevo: S_v je plocha, skrze kterou exoplaneta vyzařuje (známe z předchozích částí), σ je Stefanova–Boltzmannova konstanta a T je termodynamická teplota exoplanety v kelvinech.

Vpravo: S_p je plocha průřezu exoplanety (také známe), parametr α udává, kolik dopadajícího záření z hvězdy exoplaneta absorbuje (předpokládejme 70 %, tedy $\alpha = 0,70$), L je zářivý výkon hvězdy (pro TRAPPIST-1 je to $L = 2,127 \cdot 10^{23}$ W) a nakonec d je vzdálenost, ve které bude mít exoplaneta teplotu T .

c) Vyjádři d a výraz co nejvíce zjednoduš (zatím obecně, tj. bez dosazování hodnot).

Finále 2021/22, kategorie EF

$$d^2 S_v \sigma T^4 = \frac{S_p \alpha L}{4\pi}$$

$$d = \sqrt{\frac{S_p \alpha L}{4\pi S_v \sigma T^4}}$$

Plochy $S_{v,p}$ máme z minulých příkladů:

$$S_v = 4\pi R^2 \quad S_p = \pi R^2,$$

takže je dosadíme a výraz zjednodušíme

$$d = \sqrt{\frac{\pi R^2 \alpha L}{4\pi \cdot 4\pi R^2 \sigma T^4}} = \sqrt{\frac{\alpha L}{16\pi \sigma T^4}}.$$

d) Spočítej, v jaké vzdálenosti od hvězdy by povrch exoplanet měl teplotu bodu mrazu. Výsledek uveď v astronomických jednotkách s přesností na 3 platné číslice. *Nápověda: Nezapomeň nejprve vše převést na jednotky SI.*

Stefanovu–Boltzmannovu konstantu vyhledáme z tabulek AO: $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$.

Bod mrazu je: $T = 0^\circ\text{C} = 273,15 \text{ K}$

Do zjednodušeného vztahu dosadíme čísla

$$d = \sqrt{\frac{0,70 \cdot 2,127 \cdot 10^{23} \text{ W}}{16\pi \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4} \cdot (273,15 \text{ K})^4}} \approx 3,063 \cdot 10^9 \text{ m}$$

a převedeme: $1 \text{ au} = 1,496 \cdot 10^{11} \text{ m}$, tedy $3,063 \cdot 10^9 \text{ m} \approx 2,05 \cdot 10^{-2} \text{ au}$.

e) Spočítej, v jaké vzdálenosti od hvězdy by povrch exoplanet měl teplotu bodu varu vody (za normálního tlaku). Výsledek opět uveď v astronomických jednotkách s přesností na 3 platné číslice.

Bod varu vody je: $T = 100^\circ\text{C} \approx 373,15 \text{ K}$

Do zjednodušeného vztahu dosadíme čísla

$$d = \sqrt{\frac{0,70 \cdot 2,127 \cdot 10^{23} \text{ W}}{16\pi \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4} \cdot (373,15 \text{ K})^4}} \approx 1,641 \cdot 10^9 \text{ m}$$

a převedeme: $1 \text{ au} = 1,496 \cdot 10^{11} \text{ m}$, tedy $1,641 \cdot 10^9 \text{ m} \approx 1,10 \cdot 10^{-2} \text{ au}$.

f) Které z exoplanet systému TRAPPIST-1 nám vyšly, že jsou v obyvatelné zóně? Napiš jejich malá písmenka.

b , c

POZN: Ve skutečnosti jsme udělali při výpočtu několik zanedbání (např. skleníkový jev, počítání s bodem mrazu, při kterém stále je možné mít na planetě život atd.). Systém TRAPPIST-1 má v obyvatelné zóně planety **e, f a g**



Finále 2021/22, kategorie EF

g) Na závěr ještě ověř, že TRAPPIST-1 je skutečně trpasličí hvězda. Vypočítej střední hodnotu její hmotnosti. Uveď ji v hmotnostech Slunce zaokrouhlenou na 4 desetinná místa.

Vydeme z 3. Keplerova zákona (hlavní poloosa v au, perioda v rocích, hmotnost v M_{\odot})

$$\frac{a^3}{T^2} = M, \text{ takže ve dnech } \frac{a^3 \cdot 365,256^3}{T^2} = M$$

Dosadíme pro každou planetu a vypočítáme průměr

$$M = \frac{1}{7} (0,0889 + 0,0897 + 0,0902 + 0,0902 + 0,0898 + 0,0902 + 0,0897) M_{\odot} \approx \\ \approx 0,0898 M_{\odot}$$