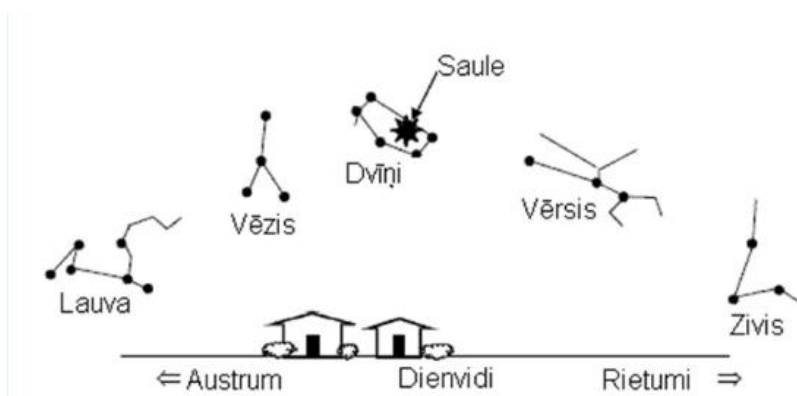


Neklāties kārta

I Tests

Tālāk doti desmit jautājumi ar atbilžu variantiem. Katram jautājumam ir tikai viena pareiza atbilde.

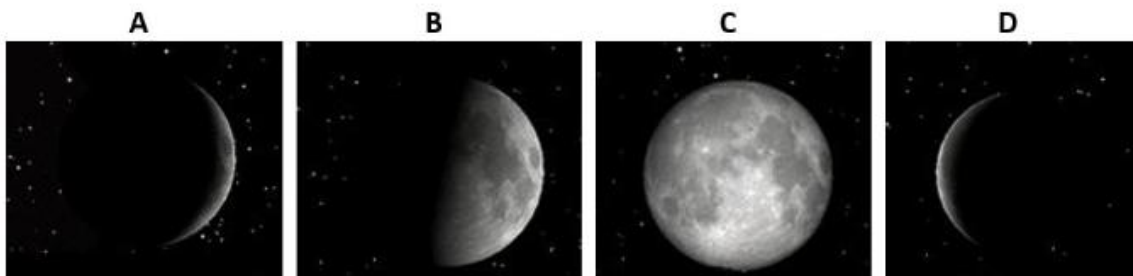
1. Kādā fāzē ir Mēness, kad tas pilnīgi aizsedz Sauli (notiek aptumsums)? (1 p)
 - pilns
 - **jauns**
 - pirmajā ceturksnī
 - pēdējā ceturksnī
 - tas var būt jebkurā fāzē
2. Kāpēc astronauti var lidināties kosmosa kuģī, kas atrodas orbītā ap Zemi? (1 p)
 - Kosmosā nav gravitācijas
 - **Viņi krīt tādā pat mērā kā kosmosa kuģis**
 - Viņi ir ārpus Zemes atmosfēras
 - Kosmosa kuģa iekšienē gravitācija ir mazāka
 - Tam ir vairāk kā viens iemesls
3. Iedomājies, ka Zemes orbīta kļūtu par perfektu apli tā, ka attālums līdz Saulei nekad nemainītos. Kā tas ietekmētu gadalaiku maiņu? (1 p)
 - Gadalaiku maiņa vairs nenotiktu
 - Gadalaiku maiņa notiktu, bet izmaiņas būtu daudz mazākas
 - Gadalaiku maiņa notiktu, bet izmaiņas būtu daudz lielākas
 - **Gadalaiki mainītos tāpat kā pašlaik**
4. Kā rodas Saules enerģija? (1 p)
 - **Vieglākajiem ķīmiskajiem elementiem apvienojoties smagākos**
 - Smagākajiem ķīmiskajiem elementiem sadaloties vieglākos
 - No izkusušu iežu karstuma
 - Tas ir karstums, kas ir palicis no Lielā Sprādziena
 - No Saules saspiešanās
5. Ja dienā varētu redzēt zvaigznes, debesis kādu dienu pusdienlaikā izskatītos tā kā zīmējumā. (1 p)



Saule atrodas starp Dvīņu zvaigznāja zvaigznēm. Kurā zvaigznājā Saule būtu redzama saulrietā?

- Lauvas zvaigznājā
 - Vēža zvaigznājā
 - **Dvīņu zvaigznājā**
 - Vērša zvaigznājā
 - Zivju zvaigznājā
6. Salīdzinot ar attālumu līdz Mēnesim, cik tālu no Zemes atrodas Starptautiskā kosmiskā stacija? (1 p)
 - **Ļoti tuvu Zemei**
 - Apmēram pusceļā starp Zemi un Mēnesi
 - Ļoti tuvu Mēnesim

- Aptuveni divas reizes tālāk par Mēnesi
 - Dažreiz tālāk, dažreiz tuvāk par Mēnesi
7. Raugoties no jūsu atrašanās vietas, Lielo Greizo Ratu zvaigznes veido kausam līdzīgu figūru. Cik tālu vajadzētu doties, lai redzētu būtiskas izmaiņas zvaigžņu savstarpējā izvietojumā? (1 p)
- Uz citu Latvijas malu
 - **Uz tālu zvaigzni**
 - Uz Mēnesi
 - Uz Plutonu
 - Uz Ameriku
8. Kurā sarakstā objekti pareizi sarindoti no tuvākā līdz tālākajam? (1 p)
- Zvaigznes, Mēness, Saule, Plutons
 - Saule, Mēness, Plutons, zvaigznes
 - **Mēness, Saule, Plutons, zvaigznes**
 - Mēness, Saule, zvaigznes, Plutons
 - Mēness, Plutons, Saule, zvaigznes
9. Ko iespējams pateikt par Visuma centru saskaņā ar jaunākajiem novērojumiem un teorijām? (1 p)
- Centrā atrodas Zeme
 - Centrā atrodas Saule
 - Centrā atrodas Piena Ceļa galaktika
 - Centrā atrodas kāda nezināma tāla galaktika
 - **Visumam nav centra**
10. Jūs novērojat pilnu Mēnesi uzlecām austrumos. Kā tas izskatīsies pēc 6 stundām? (1 p)



- A
- B
- **C**
- D

2. NOVĒROJUMI AR STELLARIUM

Atbildes uz visiem jautājumiem var atrast, izmantojot brīvpieejas planetāriju Stellarium tiešsaistē: <https://stellarium-web.org/>

A Atzīmē, kuri apgalvojumi ir patiesi – ko un kur varētu novērot pie skaidrām debesīm 18.05.2025. uzreiz pēc pusnakts (**vismaz kādu brīdi** laika posmā no 0:00 līdz 3:00) atrodoties Rīgā? (4 x 0.5 p)

A1 Saturns būs redzams virs horizonta.(0.5 p)

- Patiesi
- **Aplami**

Saturns uzleks tikai 3:50

A2 Mēness jāmeklē Strēlnieka zvaigznājā. (0.5 p)

- **Patiesi**
- Aplami

Jā, Mēness uzlēks 2:45 un tas būs Strēlnieka zvaigznājā.

A3 Debess ziemeļrietumu pusē būs novērojams Gulbja zvaigznājs. (0.5 p)

- **Patiesi**
- Aplami

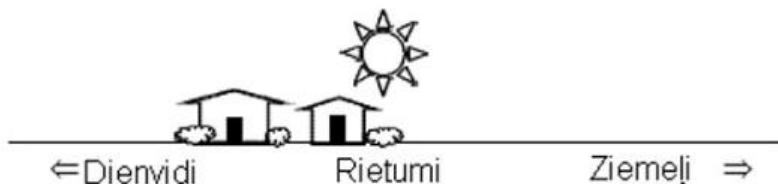
Gulbja zvaigznājs būs novērojams debess dienvidrietumu pusē.

A4 Lielākais no 88 zvaigznājiem riet, t.i. pakāpeniski pazūd zem horizonta. (0.5 p)

- **Patiesi**
- Aplami

Lielākais zvaigznājs ir Hidra, kas šajā laikā riet.

B Ap 20. martu Saule riet tieši rietumos. Kur Saule rietēs mēnesi vēlāk? (1 p)



- Tālāk uz dienvidiem
- Turpat rietumos
- **Tālāk uz ziemeļiem**
- Austrumos

Par šo iespējams pārliecināties, apskatoties, kurā debess pusē Saule riet ap 20. martu un tad paskatīties, kurā debess pusē Saule riet ap 20. aprīli. Stellarium programmā var simulēt debess ķermeņu kustību dažādos laika momentos.

C 2025. gada augustā Starptautiskā astronomijas un astrofizikas olimpiāde (IOAA) notiks Indijā Mumbajā.

C1 Kura/kuras planētas atradīsies virs horizonta Mumbajā 2025. gada 14. augustā plkst. 2.00 no rīta? (1.5 p)

- ☐ Merkurs
- ☐ Venera
- ☐ Marss
- ☐ Jupiters
- ☒ **Saturns**
- ☐ Neviena no minētajām planētām neatrodas virs horizonta

Mumbajā laiks UTC+5.30. Stellarium, ja uzliek vietu Mumbaju, vienalga rāda UTC +3.00. Tāpēc laiks jāliek par 2.30 mazāk, no 2.00 uz 23.30 iepriekšējā datumā. Redzams tikai Saturns. Jupiters uzleks pēc 2 h.

C2 Kura/kuras planētas atradīsies virs horizonta Rīgā 2025. gada 14. augustā plkst. 2.00 no rīta? (0.5 p)

- ☐ Merkurs

- ☐ Venera
- ☐ Marss
- ☐ Jupiters
- ☒ Saturns
- ☐ Neviena no minētajām planētām neatrodas virs horizonta

D 2025. gada 29. martā Latvijā bija novērojams daļējs Saules aptumsums. Tā maksimums Rīgā bija plkst. 13.35.

D1 Kādā zvaigznājā atradās Saule daļējā aptumsuma laikā? (1 p)

- Dvīņu zvaigznājā
- Lauvas zvaigznājā
- Ūdensvīra zvaigznājā
- ☒ Zivju zvaigznājā
- Vērša zvaigznājā

D2 Kādā zvaigznājā atradās Mēness daļējā aptumsuma laikā? (0.5 p)

- Dvīņu zvaigznājā
- Lauvas zvaigznājā
- Ūdensvīra zvaigznājā
- ☒ Zivju zvaigznājā
- Vērša zvaigznājā

Mēness atrodas tajā pašā zvaigznājā, kur atrodas Saule.

D3 Kāda bija Mēness fāze daļēja Saules aptumsuma laikā? (0.5 p)

- ☒ Jaunmēness
- Pirmais ceturksnis
- Pēdējais ceturksnis
- Pilnmēness

Saules aptumsums iespējams tikai, kad Mēness ir jaunmēness fāzē.

E Gustiņš 29. martā bija aizceļojis uz Vēlintonu Jaunzēlandē. Atzīmē, kuri apgalvojumi ir patiesi! Novērojumi tiek veikti 13.35 pēc atbilstošās vietas vietējā laikā.

E1 29. martā viņš varēja novērot daļējo Saules aptumsumu Vēlintonā. (1 p)

- Patiesi
- ☒ Aplami

E2 Mēness pēc vietējā laika 13.35 atrodas tālāk no Vēlintonas nekā no Rīgas. (1 p)

- ☒ Patiesi
- Aplami

Mēness no Rīgas atrodas aptuveni 355 000 km attālumā, bet no Vēlintonas – 364 000 km attālumā.

E3 Fāze, kādā redzams Mēness, Vēlintonā un Rīgā atšķiras. (1 p)

- Patiesi
- ☒ Aplami

3. Īsie uzdevumi

Ievēro mērvienības, kādās jāizsaka atbildes. Katru īso uzdevumu var risināt neatkarīgi no pārējiem.

A Sakārtojiet objektus pēc to vidējā blīvuma augošā secībā!

- Saule
- Zeme
- Galaktika
- Aldebarans
- Baltais punduris
- Neitronu zvaigzne

Kurā atbildē norādīta atbilstošā secība? (1 p.)

- Saule – Zeme – Galaktika – Aldebarans – baltais punduris – neitronu zvaigzne
- Saule – Zeme – baltais punduris – neitronu zvaigzne – Galaktika – Aldebarans
- Galaktika – Aldebarans – Saule – Zeme – baltais punduris – neitronu zvaigzne
- baltais punduris – neitronu zvaigzne – Galaktika – Aldebarans – Saule – Zeme
- neitronu zvaigzne – baltais punduris – Zeme – Saule – Aldebarans – Galaktika

B Nosakiet, cik liels ir asteroīda orbitālais periods Zemes gados, ja tā orbītas lielā pusass ir 2.4 au un ekscentritāte ir 0,1565. (1 p.)

Atbilde: $T = \dots$ Zemes gadi

Pēc III Keplera likuma

$$T = \sqrt{a^3} = \sqrt{2.4^3} = 3.72 \text{ gadi}$$

Orbītas ekscentricitāte raksturo, cik izstiepta orbīta un ietekmē objekta ātrumu dažādās orbītas daļās.

Orbitālais periods ir atkarīgs tikai no lielās pusass neatkarīgi no tā, cik ekscentriskā ir orbīta.

C Elnata β Tau redzamais spožums ir 2.65^m , savukārt absolūtais spožums ir -1.42^m . Novērtējiet no šīm vērtībām attālumu līdz Elnatam un izsakiet to parsekos (pc). (1 p.)

Atbilde: $d = \dots$ pc

$$M = m + 5 - 5 \lg d$$

no kurienes

$$d = 10^{\frac{M-m}{5}+1} = 10^{\frac{2.65+1.42}{5}+1} = 64.3 \text{ pc}$$

Piezīme: patiesais Elnata redzamais spožums ir 1.65^m un atbilstošs attālums ir ap 41 pc.

D Tīmekļa vietnē *what3words* Zemes virsma ir virtuāli sadalīta $3 \text{ m} \times 3 \text{ m}$ kvadrātos, un katram no tiem ir piešķirts unikāls kods, kas sastāv no trim nejauši izvēlētiem angļu valodas vārdiem (piemēram, Latvijas Universitātes Astronomiskais tornis tiek raksturots kā *historic.button.cage*).

Katrs no trim vārdiem tiek izvēlēts no viena un tā paša n vārdu saraksta. Nosakiet minimālo nepieciešamo n vērtību, lai šādā veidā varētu apzīmēt katru $3 \text{ m} \times 3 \text{ m}$ kvadrātu uz Zemes virsmas? (1 p.)

Atbilde: $n = \dots$ vārdi

Zemes virsmas laukums ir aptuveni

$$S = 4\pi \cdot R^2 = 4\pi \cdot (6371 \cdot 10^3)^2 = 5.1 \cdot 10^{14} \text{ m}^2$$

Viens kvadrāts aizņem 9 m^2 . Līdz ar to kvadrātu skaits ir $N = \frac{S}{9} = 5.7 \cdot 10^{13}$

Katrā pozīcijā (pirmais, otrais un trešais vārds), var izvēlēties jebkuru no n vārdiem, līdz ar to kopējais kodu skaits, ko var sastādīt no n vārdiem, ir $n \cdot n \cdot n = n^3$. Līdz ar to, lai prasītais izpildītos $n^3 = N$. Tad $n = \sqrt[3]{N} = \sqrt[3]{5.7 \cdot 10^{13}} = 38485$ vārdi

E Cik liels ir leņķis starp Sauli un Mēnesi, skatoties no Zemes centra (Mēness ģeocentriskā elongācija), ja ir apgaismota tieši Mēness puse (fāze ir 0.5000)?

Pieņemiet, ka Zemes un Mēness orbītas ir riņķveida un atrodas vienā plaknē, ka attālums no Zemes līdz Mēnesim ir 384 400 km un ka attālums no Zemes līdz Saulei ir 149,6 miljoni km. Atbildi norādiet ar trim cipariem aiz komata.

(1 p)

Atbilde: $\alpha = \dots^\circ$

Tā kā ir apgaismota tieši Mēness puse, tad leņķis starp Sauli un Zemi, skatoties no Mēness, ir taisns. No trigonometriskām sakarībām taisnleņķa trijstūrī:

$$\cos \alpha = \frac{R_{ZM}}{R_{ZS}}$$

$$\alpha = \arccos \frac{384400}{149.6 \cdot 10^6} = 89.853^\circ$$

F Kur 2026. gada 21. decembrī vertikāli iestiprinātam stabam vietējā pusdienlaikā nebūs ēnas? (1 p.)

- uz Vēža tropa
- uz ekvatora
- uz Mežāža tropa
- uz Antarktikas polārā loka

2026. gada 21. decembris atbilst ziemas saulgriežiem, tāpēc Saules deklinācija būs -23.5° (vienāda ar Zemes ass slīpumu). Stabam nebūs ēnas, ja Saule atrodas zenītā, kas atbilst Mežāža tropam, kas atrodas tieši -23.5° platumā.

G Apskatīsim kādu Hercšprunga-Rasela diagrammas galvenās secības zvaigzni, kuras masa ir $M=9.1 \cdot 10^{29}$ kg. Tās enerģijas avots ir protona-protona (pp) kodolreakciju cikls, kurš pārvērš enerģijā $v=0.7\%$ no vielas masas, kas piedalās reakcijās.

Ūdeņraža un hēlija sākotnējā masas daļas zvaigznē ir $f_H=0.71$ un $f_{He}=0.22$ attiecīgi. Zinot, ka uz galvenās secības starжда ir atkarīga no masas kā $L \propto M^{3.5}$, nosakiet zvaigznes starждаu Saules starждаudas vienībās! (1 p.)

Nosakiet ūdeņraža masu (izsakiet to kilogramos), kas tiek pārvērsts hēlijā katru sekundi (1 p.)

Pieņemot, ka uz galvenās secības zvaigzne kodolsintēzes reakcijās pārvērš $k=10\%$ no visas savas ūdeņraža masas, nosakiet šīs zvaigznes galvenās secības fāzes ilgumu (miljardos gadu). (1 p.)

Atbildes:

$$L = \dots L_\odot$$

$$m_H = \dots \text{ kg}$$

$$T = \dots \text{ miljardi gadu}$$

1) Izmantojot uzdevumā doto:

$$\frac{L}{L_\odot} = \left(\frac{M}{M_\odot}\right)^{3.5} = \left(\frac{9.1 \cdot 10^{29}}{1.988 \cdot 10^{30}}\right)^{3.5} = 0.065$$

2) Protona-protona kodolreakciju ciklā no izmantotās masas Δm izdalās enerģija: $E = \nu \Delta m c^2$. Ņemot vērā, ka enerģija izdalās izmantotā ūdeņraža dēļ, analogiski no masas-enerģijas proporcionalitātes: $E = L \Delta t = \nu \Delta m c^2$. Tāpēc

$$m_H = \frac{\Delta m}{\Delta t} = \frac{L}{\nu c^2} = \frac{0.065 \cdot 3.826 \cdot 10^{26}}{0.007 \cdot (2.988 \cdot 10^8)^2} = 3.9 \cdot 10^{10} \text{ kg}$$

3) Kopējā reaģējošā ūdeņraža masa zvaigznē ir $M_H = f_H M$, tāpēc $T = \frac{M_H}{m_H} = \frac{k f_H M}{m_H} = \frac{0.1 \cdot 0.71 \cdot 9.1 \cdot 10^{29}}{3.9 \cdot 10^{10}} = 1.66 \cdot 10^{18} \text{ s} = 52.63 \text{ miljardi gadu}$

H 2033. gada vasarā leņķiskais attālums starp Marsu un Polārzvaigzni ir 113.5° . Nosakiet maksimālo Marsa augstumu virs horizonta, ja to novēro no vietas ar ģeogrāfisko platumu $\varphi=46^\circ\text{N}$. Atbildi izsakiet grādos. (1 p.)

Atbilde: $h_{\max} = \dots^\circ$

Polārzvaigznes deklinācija $\delta_{Polaris} = +90^\circ$

Marss atrodas 113.5° attālumā no Polārzvaigznes, tātad Marsa deklinācija ir:

$$\delta_M = +90^\circ - 113.5^\circ = -23.5^\circ$$

Marss atrodas dienvidu puslodē, jo deklinācija ir negatīva.

$$h_{\max} = 90^\circ - (\varphi - \delta_M) = 90^\circ - (46^\circ - (-23.5^\circ)) = 20.5^\circ$$

4. Ģeostacionārs pavadonis

Ievēro mērvienības, kādās jāizsaka atbildes. Dažus uzdevuma apakšpunktus var risināt neatkarīgi no pārējiem.

Ģeostacionārais pavadonis ir tāds pavadonis, kurš, rotējot ap Zemi, vienmēr atrodas virs viena Zemes virsmas punkta. Tā ir, taisne, kas savieno Zemes centru ar pavadoni, kas katrā laika brīdī šķērso Zemes virsmu vienā un tajā pašā punktā. Šāda pavadoņa trajektorija nerotējošā atskaites sistēmā ar centru Zemes centrā ir riņķa līnija, kas atrodas Zemes ekvatoriālajā plaknē.

Pavadoņa masa ir $m = 100\text{ kg}$, Zemes masa ir $M = 5.972 \cdot 10^{24}\text{ kg}$, Zemes rādiuss ir $R_z = 6.378 \cdot 10^6\text{ m}$. Zemes rotācijas periods (astronomijā to sauc par zvaigžņu diennakti) ir $T_d = 23^{\text{h}}56^{\text{m}}04^{\text{s}}$.

A

A1 Cik lielā augstumā h virs Zemes virsmas atrodas ģeostacionārie pavadoņi? Izsakiet atbildi metros. (1 p)

Atbilde: $h = \dots\text{ m}$

$$T = T_d = 2\pi \sqrt{\frac{(R_z + h)^3}{GM}}$$
$$h = \sqrt[3]{\frac{GMT_d^2}{4\pi^2}} - R_z = \sqrt[3]{\frac{6.674 \cdot 10^{-11} \cdot 5.972 \cdot 10^{24} \cdot 86164^2}{4\pi^2}} - 6.378 \cdot 10^6 = 3.578 \cdot 10^7\text{ m}$$

A2 Kura no dotajām formulām pareizi saista ģeostacionārā pavadoņa ātrumu v ar Zemes rādiusu R_z , zvaigžņu diennakts garumu T_d un brīvās krišanas paātrinājumu uz Zemes virsmas g ?

Izvēlies pareizo formulu! (1 p.)

a) $\frac{g^2 T_d^3}{4\pi R_z}$ b) $\sqrt[3]{2\pi R_z g^2 T_d}$ c) $\sqrt[3]{\frac{2\pi g R_z^2}{T_d}}$

d) $\sqrt[3]{4\pi^2 R_z g^2 T_d}$ e) $\frac{2\pi R_z^2}{g T_d^3}$ f) $2\pi \sqrt[3]{\frac{g R_z^2}{T_d}}$

- a)
- b)
- **c)**
- d)
- e)
- f)

Brīvās krišanas paātrinājums uz planētas virsmas ir gravitācijas spēks uz kādu masu m , dalīts ar šo masu:

$$g = \frac{GM}{R^2}$$

Līdz ar to mēs varam izteikt

$$GM = gR^2$$

No kurienes

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{(R+h)^3}{gR^2}}$$

$$R + h = \sqrt[3]{\frac{gR^2 T^2}{4\pi^2}}$$

Un tad

$$v = \frac{2\pi(R+h)}{T} = \frac{2\pi}{T} \sqrt[3]{\frac{gR^2 T^2}{4\pi^2}} = \sqrt[3]{\frac{2\pi g R^2}{T}}$$

Līdz ar to pareizā formula ir c.

B Apskatīsim momentu, kad pavadoņi atrodas starp Sauli un Zemi. Pieņemiet, ka ģeostacionāro pavadoņu augstums ir $h = 3.600 \cdot 10^7$ m. Saules starjauka ir $L = 3.826 \cdot 10^{26}$ W, Zemes centrs atrodas attālumā $a_z = 1.496 \cdot 10^{11}$ m no Saules.

B1 Cik lielu starojuma intensitāti I_s vatos uz kvadrātmētru saņem pavadoņa puse, kas ir vērsta uz Sauli? (1 p)

Atbilde: $I_s = \dots$ W/m²

$$I_s = \frac{L_{\odot}}{S} = \frac{L_{\odot}}{4\pi(a - R_z - h)^2} \approx \frac{L_{\odot}}{4\pi a^2} = \frac{3.826 \cdot 10^{26}}{4\pi \cdot (1.496 \cdot 10^{11})^2} = 1.360 \cdot 10^3 \text{ W/m}^2$$

B2 Cik lielu starojuma intensitāti I_z vatos uz kvadrātmētru saņem pavadoņa puse, kas ir vērsta uz Zemi? Pieņem, ka Zemes virsma izkliedē atpakaļ kosmosā $\eta = 0.30$ no enerģijas, kuru tā saņem no Saules (t.i., Zemes albedo ir 30 %). (1 p)

Atbilde: $I_z = \dots$ W/m²

Līdzīgi kā iepriekšējā punktā Saules starojuma intensitāte, ko saņem Zeme ir

$$I_s = \frac{L_{\odot}}{4\pi a^2}$$

Zeme reflektē kā disks, tas ir, pilnā jauda, kas nāk uz Zemes virsmu no Saules ir

$$P_s = I_s S_z = I_s \pi R_z^2 = \frac{L_{\odot} R_z^2}{4a^2}$$

No šīs jaudas atpakaļ (radiāli no visas uz Sauli vērsts pussfēras) Visumā tiek izstarota jauda

$$P_z = \eta P_s = \eta \frac{L_{\odot} R_z^2}{4a^2}$$

Tad intensitāte attālumā $R_z + h$ no Zemes centra ir

$$I_z = \frac{P_z}{2\pi(R_z + h)^2} = \eta \frac{L_{\odot} R_z^2}{8\pi a^2 (R_z + h)^2} \approx 0.30 \cdot \frac{3.826 \cdot 10^{26} \cdot (6.378 \cdot 10^6)^2}{8\pi \cdot (1.496 \cdot 10^{11})^2 \cdot (6.378 \cdot 10^6 + 3.600 \cdot 10^7)^2} = 4.622 \text{ W/m}^2$$

B3 Saules redzamais spožums uz Zemes ir $m_s = -26.8^m$. Cik liels ir Zemes redzamais spožums m_z , skatoties no pavadoņa? Pieņemiet, ka atbildes uz iepriekšējiem diviem jautājumiem ir $I_s = 1000$ W/m² un $I_z = 10$ W/m². (1 p)

Atbilde: $m_z = \dots^m$

Pēc Pogsona formulas,

$$m_z = m_s + 2.5 \log_{10} \left(\frac{I_s}{I_z} \right) = -26.8 + 2.5 \log_{10} \left(\frac{1000}{10} \right) = -21.8^m$$

C Apskatīsim kā pavadoņa orbītu ietekmē tā kinētiskā enerģija. Šajā daļā pieņem, ka ģeostacionāro pavadoņa augstums virs Zemes virsmas ir $h = 3.600 \cdot 10^7$ m.

C1 Cik liela ir ģeostacionārā pavadoņa pilnā mehāniskā enerģija (potenciālās un kinētiskās enerģijas summa) E džoulos? (1 p)

Atbilde: $E = \dots$ J

$$E = E_{\text{kin.}} + E_{\text{pot.}} = \frac{mv^2}{2} - \frac{GMm}{R_z + h}$$

Tā kā trajektorija ir riņķveida:

$$\frac{mv^2}{R_z + h} = F_c = F_g = \frac{GMm}{(R_z + h)^2} \Leftrightarrow E_k = \frac{mv^2}{2} = \frac{GMm}{2(R_z + h)}$$

kur $F_c = F_g$ ir centrīces spēks, kura lomu šajā gadījumā spēlē gravitācijas spēks. Tad:

$$E = \frac{GMm}{2(R_z + h)} - \frac{GMm}{R_z + h} = -\frac{GMm}{2(R_z + h)} \approx -\frac{6.674 \cdot 10^{-11} \cdot 5.972 \cdot 10^{24} \cdot 100}{2(6.378 \cdot 10^6 + 3.600 \cdot 10^7)} = -4.702 \cdot 10^8 \text{ J}$$

C2 Pavadoņi iedarbināja raķešdzinējus, lai samazinātu savu kustības ātrumu. Rezultātā pavadoņa kinētiskā enerģija ir samazinājusies divreiz, taču ātruma virziens nemainījās. Cik liela tagad ir pavadoņa pilnā mehāniskā enerģija E' ? (1 p)

Atbilde: $E' = \dots$ J

$$E' = E'_{\text{kin.}} + E'_{\text{pot.}} = \frac{1}{2} E_{\text{kin.}} + E_{\text{pot.}} = \frac{GMm}{4(R_z+h)} - \frac{GMm}{R_z+h} = -\frac{3GMm}{4(R_z+h)} \approx -\frac{3 \cdot 6.674 \cdot 10^{-11} \cdot 5.972 \cdot 10^{24} \cdot 100}{4(6.378 \cdot 10^6 + 3.600 \cdot 10^7)} = -7.054 \cdot 10^8 \text{ J}$$

C3 Cik liela ir jaunās pavadoņa orbītas lielā pusass a' metros? Pieņem, ka atbilde uz iepriekšējo jautājumu ir $E' = -8.0 \cdot 10^8 \text{ J}$. (1 p)

Atbilde: $a' = \dots \text{ m}$

Eliptiskās orbītas pilnā mehāniskā enerģija ir

$$E' = -\frac{GMm}{2a}$$

No kurienes

$$a = -\frac{GMm}{2E'} = -\frac{6.674 \cdot 10^{-11} \cdot 5.972 \cdot 10^{24} \cdot 100}{2 \cdot (-8.0) \cdot 10^8} = 2.491 \cdot 10^7 \text{ m}$$

C4 Vai uz jaunās orbītas pavadonis sadursies ar Zemi? Šeit un tālāk pieņem, ka jaunās orbītas lielā pusass ir $a = 2.600 \cdot 10^7 \text{ m}$. (1 p)

• Jā

• Nē

Tā kā momentā uzreiz pēc bremzēšanas satelīta ātrums ir mazāks par 1. kosmisko ātrumu, bet kustības virziens ir horizontāls, tad šis punkts uz pavadoņa jaunās orbītas ir afēlijs.

Pavadonis sadursies ar Zemi, ja jaunās orbītas perigeja attālums r_p ir mazāks par Zemes rādiusu. No elipses īpašībām $r_p = 2a - r_a = 2a - (R_z + h)$.

$$r_p = 2 \cdot 2.600 \cdot 10^7 - (0.6378 \cdot 10^7 + 3.600 \cdot 10^7) = 0.9622 \cdot 10^7 \text{ m}$$

Redzam, ka jaunās orbītas perigejs atrodas aptuveni 3 tūkstošus kilometru augstāk par Zemes virsmu un sadursme nenotiks.

C5 Cik liela ir jaunās pavadoņa orbītas mazā pusass b metros? (1 p)

Atbilde: $b = \dots \text{ m}$

Attālums no Zemes centra līdz pavadonim ir

$$r = a + c$$

Kur a ir lielās pusass garums un c ir attālums no elipses centra līdz fokusam.

No citas puses, šis attālums ir vecās (stacionārās) orbītas rādiuss, tas ir

$$r = R_z + h$$

No kurienes

$$c = R_z + h - a$$

Un tad orbītas ekscentricitāte ir

$$e = \frac{c}{a} = \frac{R_z + h - a}{a} = \frac{R_z + h}{a} - 1$$

Ir zināms, ka elipses ekscentricitāti var izrēķināt arī pēc citas formulas:

$$e = \sqrt{1 - \frac{b^2}{a^2}}$$

No kurienes

$$b = a \sqrt{1 - e^2} = a \sqrt{1 - \left(\frac{R_z + h}{a} - 1 \right)^2} = \sqrt{(R_z + h)(2a - R_z - h)} \approx \sqrt{(6.378 \cdot 10^6 + 3.600 \cdot 10^7)(2 \cdot 2.600 \cdot 10^7 - 6.378 \cdot 10^6 - 3.600 \cdot 10^7)} = 2.019 \cdot 10^7 \text{ m}$$

5. H II REĢIONS

Ievēro mērvienības, kādās jāizsaka atbildes. Dažus uzdevuma apakšpunktus var risināt neatkarīgi no pārējiem.

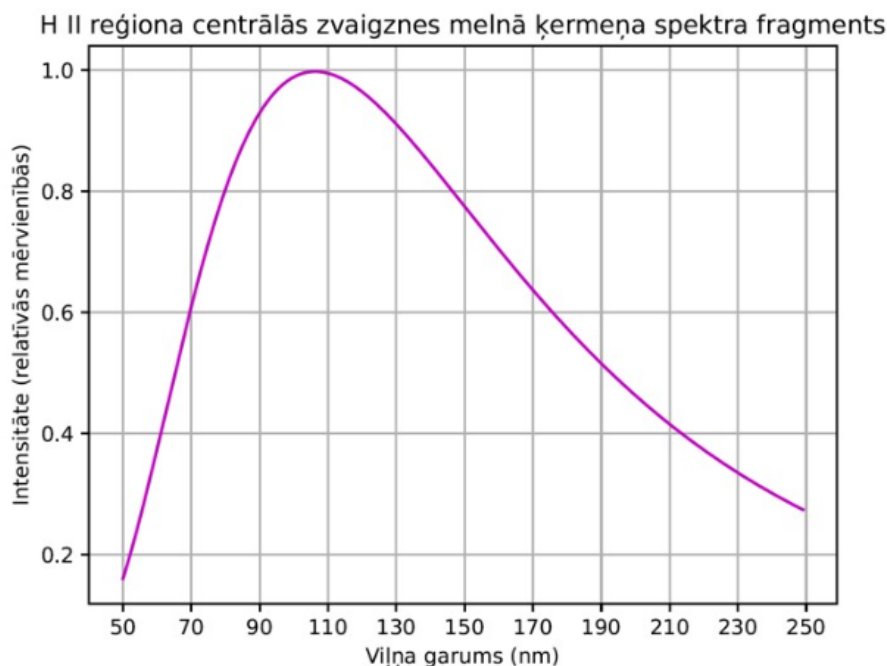
H II reģioni (emisijas miglāji) ir vieni no skaistākajiem objektiem debesīs. Tie rodas jaunu, augstas temperatūras zvaigžņu apkārtnē, kad no zvaigznēm izdalītais starojums jonizē apkārt esošos ūdeņraža atomus un tie, elektronu rekombinācijas rezultātā, izstaro gaismu. Apzīmējums “H II” (to lasa ka “hā divi”) arī nozīmē to, ka gaisma rodas jonizētā ūdeņraža rekombinācijā.



Attēlā: Oriona A molekulāra mākoņa zvaigžņu veidošanas apgabals un spožs H II reģions. Dati no ESO/VISTA teleskopa. Uzņēmums tuvā IS diapazonā.

Šajā uzdevumā mēs apskatīsim dažādus ar H II reģioniem saistītus procesus.

Apskatot miglāja spektru, astronomiem izdevās rekonstruēt centrālās zvaigznes spektru:



A1 Nosaki no šī spektra zvaigznes efektīvo temperatūru, pieņemot, ka tas ir absolūti melnā ķermeņa spektrs, un izsaki to kelvīnos! (1 p.)

Atbilde: $T = \dots$ K

Nolasa no grafika intensitātes maksimuma viļņa garumu: 105 nm (var ieskaitīt 101-109 nm), pielieto Vīna likumu no formulu lapas un iegūst

$$\lambda_{max} = \frac{b}{T}, \text{ kur } b = 2.898 \text{ mm} \cdot \text{K}$$

$$T = \frac{b}{\lambda_{max}} = \frac{2.898 \text{ mm} \cdot \text{K}}{105 \text{ nm}} = \frac{2.898 \text{ mm} \cdot \text{K}}{105 \cdot 10^{-3} \text{ mm}} = 27600 \text{ K}$$

A2 Nosaki zvaigznes pīķa viļņa garuma fotona enerģiju un izsaki to džoulos! (1 p.)

Atbilde: $E = \dots$ J

$$E = \frac{hc}{\lambda}$$

$$\text{Planka konstante } h = 6.626 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$$

$$\text{Gaismas ātrums vakuumā } c = 2.998 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

$$\text{Gaismas pīķa viļņa garums } \lambda = 105 \text{ nm} = 105 \cdot 10^{-9} \text{ m}$$

$$E = \frac{6.626 \cdot 10^{-34} \cdot 2.998 \cdot 10^8}{105 \cdot 10^{-9}} = 1.89 \cdot 10^{-18} \text{ J}$$

A3 Pētot H II reģionus, astronomi pārbauda, vai tajā esošo zvaigžņu izstarotā gaisma spēj jonizēt apkārt esošos ūdeņraža atomus. Fotona viļņa garums, kurš ir nepieciešams, lai paceltu elektronu no enerģijas līmeņa n_1 uz līmeni n_2 , ir atrodams no Ridberga formulas:

$$\frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$$

$$\text{kur Ridberga konstante } R_H = 1.096 \cdot 10^7 \text{ m}^{-1}.$$

Nosaki fotonu maksimālo viļņa garumu, kas vēl jonizē ūdeņradi, un izsaki to nm! Jonizācija atbilst pārejai no elektrona zemākajā enerģijas līmenī ($n_1 = 1$) uz brīvu stāvokli ($n_2 = \infty$)! (1 p.)

Nosaki arī tam atbilstošu fotonu enerģiju un izsaki to džoulos! (1 p.)

Atbildes: $\lambda = \dots$ nm

$E_{\text{joz}} = \dots$ J

Ievietojot formulā:

$$\frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) = R_H \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{\infty^2} \right) = R_H (1 - 0) = R_H$$

$$\lambda = \frac{1}{R_H} = \frac{1}{1.096 \cdot 10^7} = 0.9124 \cdot 10^{-7} \text{ m} = 91.24 \text{ nm}$$

$$E_{\text{jon}} = \frac{hc}{\lambda} = \frac{6.626 \cdot 10^{-34} \cdot 2.998 \cdot 10^8}{91.24 \cdot 10^{-9}} = 2.17 \cdot 10^{-18} \text{ J}$$

A4 Vai apskatītās zvaigznes pīķa viļņa garuma fotons spēj jonizēt neitrālu ūdeņradi? (1 p)

• Jā

• **Nē**

$$E_{\text{pīķa}} = 1.89 \cdot 10^{-18} \text{ J (skat. A2 jautājuma risinājumu)}$$

$$E_{\text{jonizācijas}} = 2.17 \cdot 10^{-18} \text{ J (skat. A3 jautājuma risinājumu)}$$

$$E_{\text{pīķa}} < E_{\text{jonizācijas}}$$

Nespēs jonizēt.

Turpmāk uzdevumā noteiksim centrālās zvaigznes teorētisko H II reģiona izmēru, pieņemot, ka ūdeņradis ir viendabīgi sadalīts telpā. Nosacījums, kurš mums ļaus to paveikt, ir līdzsvars starp laika vienībā jonizētiem un rekombinētiem ūdeņraža atomiem. Ja abi lielumi ir vienādi, tad H II reģions ir sasniedzis lielāko iespējamo izmēru.

A5 Sāksim ar jonizāciju skaitu. Vispirms ir jānosaka zvaigznes starjauka. Zināms, ka zvaigznes absolūtais zvaigžņlielums $M = -7^m$, Saules absolūtais zvaigžņlielums $M = 4.83^m$ un Saules starjauka $L = 3.83 \cdot 10^{26}$ W. Nosaki zvaigznes starjauku Saules starjaukas vienībās (1 p.) un arī vatos! (1 p.)

Atbildes: $L_{\text{zv}} = \dots L_{\odot}$

$L_{\text{zv}} = \dots$ W

Pielieto Pogsona formulu

$$M_{\odot} - M_{zv} = 2.5 \log_{10} \left(\frac{L_{zv}}{L_{\odot}} \right)$$

$$L_{zv} = 53951 L_{\odot} = 53951 \cdot 3.83 \cdot 10^{26} = 2.06 \cdot 10^{31} \text{ W}$$

A6 Neskatoties uz to, ka zvaigznes pīķa viļņa garuma fotons nav spējīgs jonizēt ūdeņradi, liela daļa zvaigznes izdalītā starojuma tomēr ir pietiekami enerģiska lai to spētu.

Pieņemsim tuvināti, ka 30% zvaigznes starjaudas tiek izstarota ar viļņa garumu $\lambda = 90 \text{ nm}$ un ir spējīga jonizēt neitrālo ūdeņradi. Cik fotonus kuri ir spējīgi jonizēt neitrālo ūdeņradi sekundē izstaro zvaigzne visos virzienos? (1 p.)

Atbilde: $N = \dots$ fotoni sekundē

$$N = \frac{0.3 \cdot L_{zv}}{E_{\text{jonizācijas}}} = \frac{0.3 \cdot 2.06 \cdot 10^{31}}{2.17 \cdot 10^{-18}} = 2.8 \cdot 10^{48} \text{ fotoni sekundē}$$

A7 Pāriesim pie rekombināciju skaita. Rekombinācijas procesu apraksta elektronu rekombinācijas ātrums R , kas tiek izteikts kā notiekošo rekombināciju skaits tilpuma vienībā ik sekundi.

Tas ir atkarīgs no ūdeņraža atomu un elektronu blīvuma, kuru mēs šajā uzdevumā pieņemsim kā konstantu apkārt zvaigznei, un tā vērtība ir $R = 3.1 \cdot 10^{-3} \text{ m}^{-3} \text{ s}^{-1}$.

Cik lielā tilpumā vidēji notiek viena rekombinācija sekundē? (1 p.)

Atbilde: $V = \dots \text{ m}^3$

$$R = \frac{N}{V \cdot t}$$

Ja $N = 1$ un $t = 1 \text{ s}$, tad

$$V = \frac{1}{R} = \frac{1}{3.1 \cdot 10^{-3}} = 322.58 \text{ m}^3$$

A8 Visbeidzot, nosaki H II reģiona rādiusu parsekos! (1 p.)

Atbilde: $R = \dots \text{ pc}$

Jāsaprot, ka lai reģions būtu līdzsvarā, rekombināciju skaitam sekundē jābūt vienādam ar izstaroto fotonu skaitu sekundē

$$V_{HII} = N \cdot V = 2.8 \cdot 10^{48} \cdot 322.58 = 9.03 \cdot 10^{50} \text{ m}^3$$

$$V_{HII} = \frac{4}{3} \pi R^3 \Rightarrow R = \sqrt[3]{\frac{3V_{HII}}{4\pi}} = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot 9.03 \cdot 10^{50}}{4\pi}} = 5.996 \cdot 10^{16} \text{ m}$$

$$1 \text{ pc} = 3.086 \cdot 10^{16} \text{ m}$$

$$R = 1.94 \text{ pc}$$