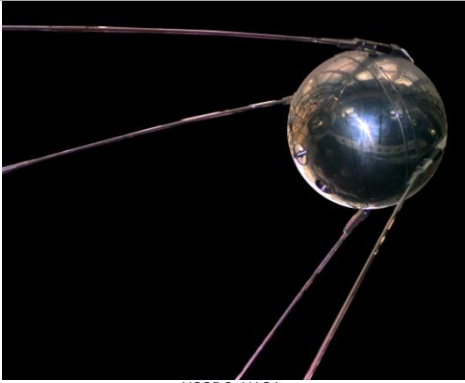
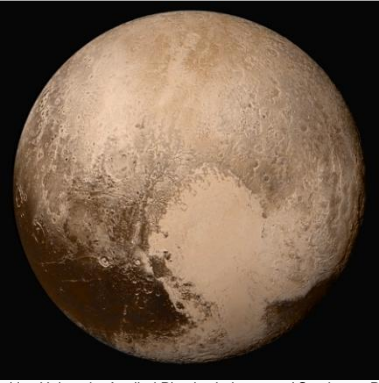

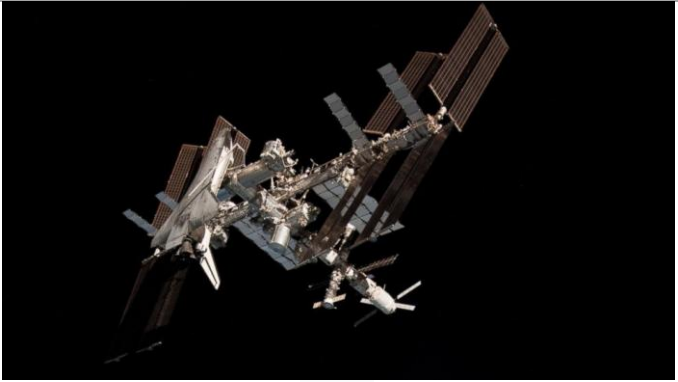




LATVIJAS 50. ASTRONOMIJAS ATKLĀTĀ OLIMPIĀDE  
2022. GADA 22. FEBRUĀRĪ

1. TESTS

1. Atzīmē lieko, kas neiederas no astronomijas viedokļa. (1 p)

<p style="text-align: center;">A</p>  <p style="text-align: center;">NSSDC, NASA</p>	<p style="text-align: center;">B</p>  <p style="text-align: center;">NASA / Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory / Southwest Research Institute</p>
<p style="text-align: center;">C</p>  <p style="text-align: center;">By Luc Viatour, CC BY-SA 3.0</p>	<p style="text-align: center;">D</p>  <p style="text-align: center;">NASA/ESA</p>

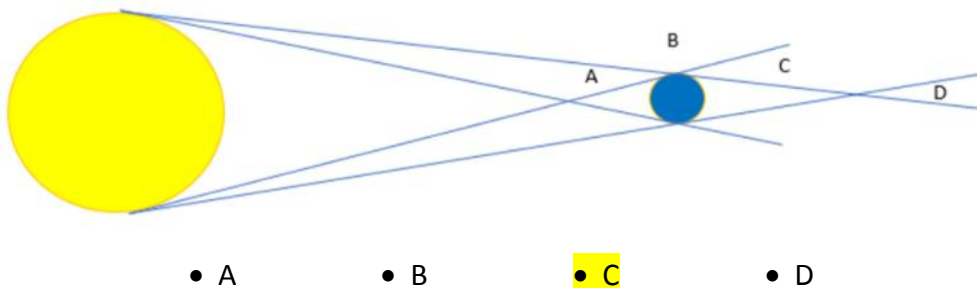
**B** *Plutons, jo nav pavadonis. Pārējos attēlos ir attēloti mākslīgie vai dabiskie pavadoņi.*

2. Kāda atmosfēras parādība ir vērojama attēlā? (1 p)



- Komētas aste
- Saules suns
- Saules stabs
- Zodiakālā gaisma

3. Kurā vietā atrodas Mēness, ja uz Zemes novēro daļēju Mēness aptumsumu? (1 p)



4. Kas redzams attēlā? (1 p)

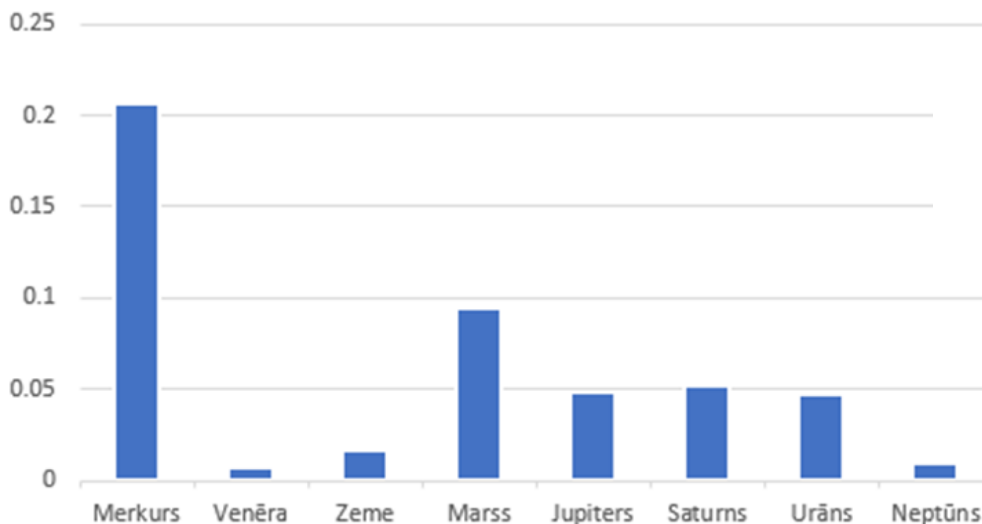


- Absorbcijas miglājs
- Emisijas miglājs
- Neregulārā galaktika
- Pārnova

5. Kurā zvaigznājā atrodas zvaigzne, kuras rektascensija  $13^h$  un deklinācija  $71^{\circ} 39'$ ? (1 p)

- Lielā Lāča zvaigznājā
- Mazā Lāča zvaigznājā
- Pūķa zvaigznājā
- Žirafes zvaigznājā

6. Kas attēlots grafikā? (1 p)



- Izstarotais siltums
- Blīvums
- Orbītas ekscentricitāte
- Orbītas slīpums

7. Ja aptumšotu Sauli, tad arī dienā varētu redzēt zvaigznes un zvaigznājus aiz tās. Cik dažādos zvaigznājos gada laikā atrodas Saule? (1 p)

- 1
- 12
- 13
- 88

8. Kādā ziemas vakarā Rūdis novēroja rietošu Mēnesi. Kāda bija Mēness fāze? (1 p)

- Augošs
- Dilstošs
- Pilns
- Jauns

*Ziemas vakari ir tumši, tātad Mēness riet pēc Saules. Saule to apspīd atrodoties aiz horizonta, Latvijā – austrumu pusē. Izgaismojas „p”.*

9. Saules sistēma kustas cauri Piena Ceļa galaktikai kādā noteiktā virzienā jeb uz kādu iedomātu punktu. Kurā zvaigznājā atrodas šis iedomātais punkts? (1 p)

- Herkulesa zvaigznājā
- Lielā Lāča zvaigznājā
- Mazā Lāča zvaigznājā
- Oriona zvaigznājā

10. Alise Ziemassvētkos Latvijā novēroja kulminējam zvaigzni, kuras vārdā nosaukts kāds maiņzvaigžņu tips. Šī tipa maiņzvaigznes ir sarkanie milži un to pulsācijas periods ir lielāks nekā 100 dienas. Ap cikziem tas notika? (1 p)

- 18:30
- 20:30
- 22:30
- 00:30

*Mira kulminē dienvidos 24. – 25. decembrī ap 20:15 – 20:45.*

## 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 varētu novērot pie debesīm šonakt pēc pusnakts (no 0:00 līdz 2:00) atrodoties Rīgā? (4 x 0.5 p)

- |                                                         |    |    |
|---------------------------------------------------------|----|----|
| • Sietiņš būs redzams virs horizonta.                   | Jā | Nē |
| • Lauvas zvaigznājs būs novērojams debess rietumu pusē. | Jā | Nē |
| • Sīriuss pie debesīm būs redzams ilgāk nekā Rīgels.    | Jā | Nē |
| • Debess ziemeļrietumu pusē lēks Auna zvaigznājs        | Jā | Nē |

*Lauvas zvaigznājs būs novērojams debess dienvidu pusē. Debess ziemeļrietumu pusē rietēs Auna zvaigznājs.*

**B** Kuras planētas atradīsies virs horizonta Rīgā 2025. gada 1. maijā plkst. 5.00 no rīta? (1.5 p)

- Merkurs (-0.5 p)
- Venēra
- Marss (-0.5 p)
- Jupiters (-0.5 p)
- Saturns
- Urāns (-0.5 p)
- Neptūns

**C** Kuras planētas atradīsies virs horizonta Rīgā 2025. gada 1. maijā plkst. 22.00 vakarā? (1.5 p)

- Merkurs (-0.5 p)
- Venēra (-0.5 p)
- Marss
- Jupiters
- Saturns (-0.5 p)
- Urāns
- Neptūns (-0.5 p)

**D** 2022. gada 16. februāra naktī Latvijā bija novērojams pilns Mēness. Kurā zvaigznājā atradās Mēness? (1 p)

- Vēža zvaigznājā
- Lauvas zvaigznājā
- Ūdensvīra zvaigznājā
- Zivju zvaigznājā
- Jaunavas zvaigznājā

**E** Kurš apgalvojums ir patiess? (2 x 0.5 p)

- 2022. gada 16. februāra naktī Austrālijā bija novērojams pilns Mēness Jā Nē
- Skatoties no Austrālijas, Mēness atradās tajā pašā zvaigznājā, kurā skatoties no Latvijas Jā Nē

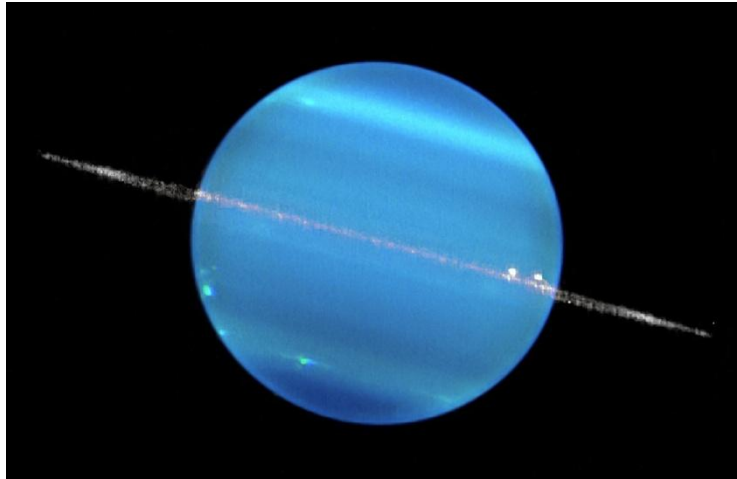
**F** Pilns Saules aptumsums Latvijā (Rīgā) būs novērojams 2142. gada 25. maijā. Aptumsums sāksies īsu brīdi pēc plkst 11:05.

- Cik sekundes, skatoties no Rīgas, ilgs aptumsuma pilnā fāze?  $142 \pm 22$  s (1 p)
- Cik minūtes, skatoties no Rīgas, ilgs viss aptumsums?  $147 \pm 7$  min (1 p)
- Vai, skatoties no Ventspils, arī būs novērojams pilns Saules aptumsums? (0.5 p) Jā Nē
- Vai, skatoties no Kanberas Austrālijā, arī būs novērojams Saules aptumsums? (0.5 p) Jā Nē

*Skatoties no Ventspils būs redzams daļējs Saules aptumsums. Skatoties no Kanberas, nebūs redzams Saules aptumsums.*

### 3. URĀNS UN TĀ SISTĒMA

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



Urāna disks, kādu to var saskatīt mūsdienu lielākie teleskopi ar adaptīvo optiku.

Avots: NASA/JPL/Keck II teleskops, Havaju salas.

Saules sistēmas septīto planētu - Urānu 1781. gadā atklāja Viljams Heršels, veicot novērojumus ar paštaisītu teleskopu no sava mājas dārza. Diezgan ātri tika noteikts, ka Urāna sinodiskais periods (tas ir, laika posms starp planētas opozīcijām) ir  $S_U = 369,66$  dienas.

Visā uzdevumā pieņemsim, ka debess ķermeņu orbītas ir riņķveida. Gravitācijas konstante  $G = 6,67 \times 10^{-11} \frac{\text{Nm}^2}{\text{kg}^2}$ .

Astronomiskā vienība 1 ua = 150 miljoni km.

**A** Zemes gada ilgums ir  $E = 365,25$  dienas. Cik liels ir Urāna sideriskais jeb orbitālais periods  $T_U$ ? Izsakiet to Zemes gados! (1 p)

#### Risinājums

Izmantojot sinodiskā  $S$  un sideriskā  $T$  periodu saistību ar Zemes siderisko periodu (gadu)  $E$ ,

$$\frac{1}{T} + \frac{1}{S} = \frac{1}{E}$$

iegūsim

$$\frac{1}{T_U} = \frac{1}{E} - \frac{1}{S_U}$$

$$T_U = \frac{S_U \cdot E}{S_U - E} = \frac{369,66 \text{ d}}{(369,66 - 365,25) \text{ d}} \cdot 1\text{g} = \mathbf{83,82} \text{ Zemes gadi}$$

**B** Cik liela būtu kļūda, nosakot Urāna orbitālo periodu, ja Urāna sinodisko periodu noteiktu ar +0,1 dienas kļūdu? Atbildi izsakiet Zemes gados! (1 p)

Kļūda ir ..... Zemes gadi.

#### Risinājums

Ja sinodiskais periods būtu par 0,1 d lielāks, iegūtu Urāna siderisko periodu

$$T' = \frac{S' E}{S' - E} = \frac{(369,66 + 0,1) \text{ d}}{(369,66 + 0,1 - 365,25) \text{ d}} \cdot 1\text{g} = 81,99 \text{ g}$$

$$\Delta T' = |T' - T_U| = |81,99 - 83,82| = \mathbf{1,83} \text{ Zemes gadi}$$

Nākamajos jautājumos **pieņemsim, ka Urāna apriņķošanas periods ap Sauli ir 84 gadi** (šī vērtība var atšķirties gan no iepriekšējos aprēķinos iegūtajām, gan no tabulu vērtībām).

**C** Nosakiet Urāna orbītas lielo pusasi un orbitālo kustības ātrumu! Zemes orbitālais kustības ātrums ir 29,8 km/s.

Lielā pusass  $a_U = \dots$  au (1 p)

Orbitālais kustības ātrums  $v_U = \dots$  km/s (1 p)

### Risinājums

No 3. Keplera likuma

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3}$$

(kur  $a$  ir izteikta au, bet  $T$  ir izteikts gados) iegūsim Urāna orbītas lielo pusasi, ņemot vērā, ka Zemei  $a_Z = 1$  au un  $T_Z = 1$  gads.

$$a_U^3 = T_U^2 \Rightarrow a_U = \sqrt[3]{T_U^2} = \sqrt[3]{84^2} = \mathbf{19,18} \text{ au}$$

Tā kā Urāna orbīta tiek pieņemta par riņķveida, tad tā kustības ātrums ir 1. kosmiskais ātrums, kur Saules masa  $M = 1,989 \times 10^{30}$  kg.

$$v_{1.k} = \sqrt{G \frac{M}{R}} = \sqrt{6,67 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{1,989 \cdot 10^{30}}{19,18 \cdot 150 \cdot 10^9}} = \mathbf{6,79} \text{ km/s}$$

Vai arī, ja salīdzinām Zemes kustību un Urāna kustību pa orbītu apkārt Saulei, varam spriest, ka pirmais kosmiskais ātrums samazinās apgriezti proporcionāli attāluma no Saules kvadrātsaknei, t.i.

$$\frac{v_U}{v_Z} = \sqrt{\frac{a_Z}{a_U}} \Rightarrow v_U = v_Z \cdot \sqrt{\frac{a_Z}{a_U}} = 29,8 \cdot \sqrt{\frac{1}{19,18}} = \mathbf{6,80} \text{ km/s}$$

Nākamajos jautājumos **pieņemsim, ka Urāna orbītas rādiuss ir  $a_U = 20$  au** (šī vērtība var atšķirties gan no iepriekšējos aprēķinos iegūtajām, gan no tabulu vērtībām).

**D** Urāna opozīcijā tā redzamais diametrs ir  $4''$ . Nosakiet Urāna diametru (km)! (1 p)

### Risinājums

Opozīcijas laikā attālums līdz Urānam ir  $r = a_U - a_Z = 19$  au

Urāna diametrs:

$$D = \alpha \cdot r = 4'' \cdot 19 \text{ au} = \frac{4}{206265} \cdot 19 \cdot 150 \cdot 10^6 \text{ km} = \mathbf{55\ 269} \text{ km}$$

**E** Saules konstante, tas ir, Saules starojuma enerģija uz katru Zemes kvadrātmetru ārpus atmosfēras ir ap  $k_Z = 1360 \text{ W/m}^2$ . Nosakiet līdzīgu „Saules konstanti” Urānam, t.i. Saules starojuma enerģiju uz katru Urāna kvadrātmetru ārpus atmosfēras ( $\text{W/m}^2$ )! (1 p)

### Risinājums

Virsmas apgaismojums  $E$  samazinās proporcionāli attāluma  $R$  kvadrātam no gaismas avota, kura gaismas stiprums  $I$ .

$$E = \frac{I}{R^2}$$

Pieņemot, ka Zemes un Urāna orbītas ir riņķveida, Urāns atrodas 20 reizes tālāk (pēc dotā), tā virsmas apgaismojums ir  $20^2$  reizes mazāks, t.i.,

$$k_u = \frac{1360}{20^2} = \mathbf{3,40} \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

**F** Cik lielu enerģiju Urāns saņem no Saules katru sekundi (W)? Urāna diametrs 51 000 km (ši vērtība var atšķirties gan no iepriekšējos aprēķinos iegūtajām, gan no tabulu vērtībām). (1 p)

#### Risinājums

Urāna diska (nevis virsmas!) laukums ir

$$S_{UD} = \frac{\pi D_U^2}{4}$$

līdz ar to kopējais saņemtais Saules enerģijas daudzums sekundē ir šī laukuma reizinājums ar Urāna "Saules konstanti":

$$P_U = S_{UD} \cdot k_U = \frac{\pi}{4} k_U D_U^2 = \frac{3,14}{4} \cdot 3,40 \cdot (51 \cdot 10^6)^2 = \mathbf{6,94 \cdot 10^{15} \text{ W}}$$

**G** Cik lielu apgaismojumu ( $\text{W}/\text{m}^2$ ) Urāns rada uz Zemes virsmas (neievērojot Zemes atmosfēras absorbciju), kad Urāns atrodas opozīcijā, pieņemot, ka Urāna virsma izkļiedē atpakaļ atmosfērā 40% no Saules gaismas, t.i. Urāna albedo ir  $\alpha = 40\%$ ? (2 p)

#### Risinājums

Skatoties no Zemes, Urānu var uzskatīt par punktveida gaismas avotu, kura starжда ir vienāda ar iepriekšējā punktā iegūto vērtību  $P_U$ , reizinātu ar albedo. Šī jauda tiek sadalīta pa iedomāto virsmu ar laukumu  $2\pi r^2$ , kur  $r$  ir attālums starp šo virsmu (un arī novērotāju uz Zemes) un gaismas avotu. Kad Urāns atrodas opozīcijā, tad attālums līdz tam no Zemes ir 19 ua, līdz ar to apgaismojums no Urāna uz Zemes ir

$$E_U = \frac{\alpha P_U}{2\pi r^2} = \frac{0,4 \cdot 6,94 \cdot 10^{15}}{2 \cdot 3,14 \cdot (19 \cdot 150 \cdot 10^9)^2} = \mathbf{5,44 \cdot 10^{-11} \frac{\text{W}}{\text{m}^2}}$$

**H** Pieņemsim, ka Urāns uz Zemes virsmas rada apgaismojumu  $3 \cdot 10^{-11} \text{ W}/\text{m}^2$  (ši vērtība var atšķirties no iepriekšējos aprēķinos iegūtajām). Cik liels ir Urāna spožums (zvaigžņlielumos), atrodoties opozīcijā? Pieņemt, ka  $0^m$  spožums redzamajā diapazonā atbilst apgaismojumam  $5 \cdot 10^{-9} \text{ W}/\text{m}^2$ . (1 p)

#### Risinājums

Urāna spožumu var noteikt, izmantojot Pogsona formulu

$$m_2 - m_1 = 2,5 \lg \frac{I_1}{I_2} = 2,5 \lg \frac{5 \cdot 10^{-9}}{3 \cdot 10^{-11}} = 2,5 \lg 167 = \mathbf{+5,55^m}$$

#### 4. BETELGEIZE

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

Betelgeize ( $\alpha$  Ori) ir sarkanais pārmilzis pēdējās evolūcijas stadijās, kas periodiski maina savu redzamo spožumu  $V$  (vizuālā josla) starp  $m_{V,\max} = +0,2^m$  un  $m_{V,\min} = +1,0^m$ .



Debess apgabals ar Orionu. Ar līnijām parādīta zvaigznāja raksturīgā figūra. 25.10.2020. Fotogrāfs Ilgonis Vilks.

Avots: <https://enciklopedija.lv/skirklis/116830-Orions>

**A** Cik reizu mainās Betelgeizes spožums  $V$  joslā no tās parastā minimuma līdz maksimumam? (1 p)

#### Risinājums

Izmantojot Pogsona formulu

$$\frac{I_1}{I_2} = 10^{0,4 \cdot (m_2 - m_1)} = 10^{0,4 \cdot (1,0 - 0,2)} = \mathbf{2,09 \text{ reizes}}$$

**B** Vizuālā joslā Betelgeize parasti ir 10. zvaigzne pēc spožuma, taču infrasarkanajā joslā Betelgeize ir spožākā nakts debess zvaigzne. Kāpēc? (1 p)

Izvēlies atbilstošo skaidrojumu:

- Betelgeize ir karsta zvaigzne
- Betelgeize ir auksta zvaigzne
- Betelgeize ir ļoti liela zvaigzne
- Betelgeize ir ļoti maza zvaigzne
- Betelgeize ir viena no 100 tuvākajām zvaigznēm



### Risinājums

Infrasarkanajā diapazonā spožākas izskatās aukstās zvaigznes, savukārt karstās zvaigznes ir spožākas zilajā un ultravioletajā diapazonā. Tas izriet arī no Vīna nobīdes likuma. Zvaigznes izmērs neietekmē infrasarkanā un vizuālā spožuma attiecību. Betelgeize nav starp 100 Saulei tuvākajām zvaigznēm.

Betelgeizes paralakse ir aptuveni 5,85 mas (loka milisekundes) un tās noteikšanas kļūda ir  $\pm 0,70$  mas.

C Cik liels ir attālums līdz Betelgeizei parsekos (0.5 p) un gaismas gados (0.5 p)? Aprēķinos izmantojiet doto paralakses vērtību.

### Risinājums

Paralakse  $p$  ir apgriezti proporcionāla attālumam  $d$  līdz spīdeklim.

$$d[\text{pc}] = \frac{1}{p} = \frac{1}{5,85 \cdot 10^{-3}} = 171 \text{ pc}$$

1 pc = 3,26 ly

$$d[\text{ly}] = 3,26 \cdot d[\text{pc}] = 3,26 \cdot 171 = 557,5 \text{ ly}$$

D Cik liels ir attālumu intervāls, kas atbilst izmērītās paralakses iespējamajām vērtībām? Nosakiet minimālo (0.5 p) un maksimālo (0.5 p) iespējamo attālumu un izsakiet tos parsekos!

### Risinājums

Minimālais attālums atbilst maksimālajai paralakses vērtībai

$$d_{\min} = \frac{1}{p_{\max}} = \frac{1}{0,00585 + 0,00070} \text{ pc} = 153 \text{ pc}$$

Maksimālais attālums atbilst minimālajai paralakses vērtībai

$$d_{\max} = \frac{1}{p_{\min}} = \frac{1}{0,00585 - 0,00070} \text{ pc} = 194 \text{ pc}$$

E Izmantojot doto paralakses vērtību (5,85 mas) un neievērojot starpzvaigžņu gaismas absorbciju, nosakiet Betelgeizes absolūto spožumu  $V$  joslā tās spožuma minimumā! Rezultātu noapaļojiet līdz vienam ciparam aiz komata! (1 p)

### Risinājums

Ņemot vērā, ka  $\lg d = -\lg p$

Absolūtais spožums

$$M = m - 5 \lg d + 5 = m + 5 \cdot \lg p + 5 = 1,0 + 5 \lg 0,00585 + 5 = -5,2^m$$

Rīgelam ( $\beta$  Ori) ir līdzīga starjauka kā Betelgeizei (t.i., tas izstaro aptuveni tikpat daudz enerģijas kā Betelgeize), taču tā virsmas temperatūra ir lielāka (ap 12 000 K) nekā Betelgeizei (ap 3 700 K).

F Nosakiet, cik reizes Betelgeize ir lielāka par Rīgelu! (1 p)

### Risinājums

Zvaigžņu starjauka

$$L = \sigma T^4 \cdot 4\pi R^2$$

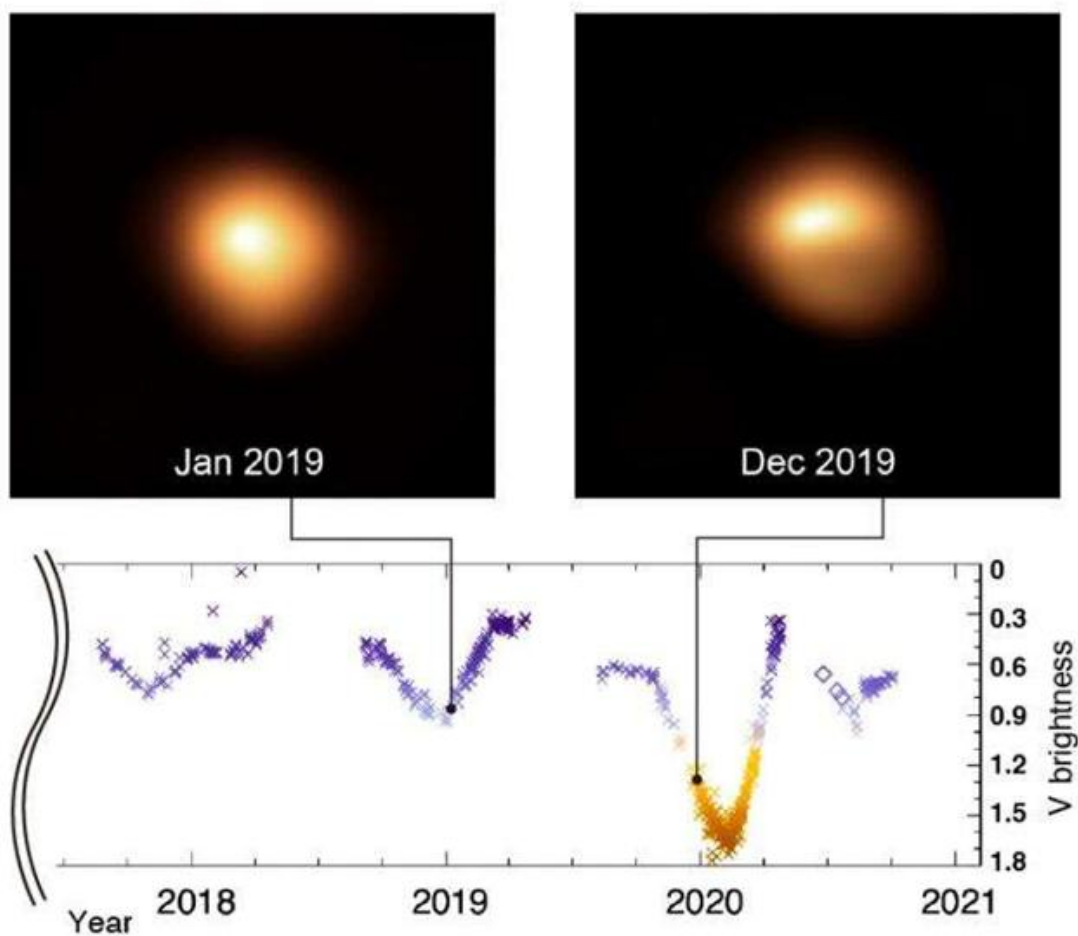
kur  $\sigma$  ir Stefana – Bolcmana konstante,  $T$  ir zvaigznes efektīvā temperatūra un  $R$  ir zvaigznes rādiuss  
Atradīsim abu zvaigžņu starjaudu attiecību

$$\frac{L_R}{L_B} = \frac{T_R^4 R_R^2}{T_B^4 R_B^2}$$

Tā kā ir dots, ka abu zvaigžņu starjaušanas ir vienādas, tad

$$\frac{R_B}{R_R} = \left(\frac{T_R}{T_B}\right)^2 = \left(\frac{12000}{3700}\right)^2 = \mathbf{10.5 \text{ reizes}}$$

2020. gada sākumā Betelgeizes spožums V joslā sasniedza kārtējo minimumu, bet tas bija īpašs gadījums. Attēlā ir redzama gan zvaigznes spožuma līkne, gan arī zvaigznes diska attēli divos atzīmētos momentos (2019. gada janvārī un decembrī). Spožums samazinājās daudz vairāk, nekā tas ir parasti Betelgeizes gadījumā. Analizējot attēlus, tika izsecināts, ka kādu diska daļu aizsedz mākonis, kas laiž cauri tikai ap 10% no redzamās gaismas. Tas, domājams, izskaidro 2020. gada sākuma spožuma minimumu.



Betelgeizes spožuma līkne (V joslas spožuma atkarība no laika, un tā diska attēli divos atzīmētajos momentos.

Attēla avots: ESO/M. Montargès et al)

**G** Izmantojot doto grafiku nosaki

**G1** Kad Betelgeizes spožums sāka samazināties šī mākoņa dēļ? Atbildi (t.i. epochu) izsaki gados un noapaļo līdz simtdaļām! (0.5 p)

**Atbilde**

Nolasām no grafika **2019,83 ± 0.05**

**G2** Cik liels bija Betelgeizes spožums tieši pirms spožuma samazināšanās? (0.5 p)

**Atbilde**

Nolasām no grafika **+0.65<sup>m</sup> ± 0.05<sup>m</sup>**

**G3** Kad Betelgeizes spožums bija vismazākais? (0.5 p) Atbildi (t.i. epohu) izsaki gados un noapaļo līdz simtdaļām! (0.5 p)

**Atbilde**

Nolasām no grafika **2020.10 ± 0.05**

**G4** Cik liels bija Betelgeizes zvaigžņlielums 2020. gada sākumā paša spožuma minimumā? (0.5 p)

**Atbilde**

Nolasām no grafika **+1.725 ± 0.075<sup>m</sup>**

**H** Tuvināti pieņemot, ka zvaigznes gaismu aizsedzošais putekļu mākonis ir pilnīgi necaurspīdīgs redzamajam starojumam, nosakiet zvaigznes laukuma daļu, kuru tas aizsedz! Pieņemiet, ka zvaigznes spožums ir tāds pats kā tas bija pirms mākoņa parādīšanās. Atbildi izsaki procentos! (1 p)

**Risinājums**

No Pogsona formulas atrodam spožuma samazinājumu:

$$\frac{I_1}{I_2} = 10^{0.4(m_2 - m_1)} = 10^{0.4 \cdot (1.70 - 0.65)} = 2,63$$

Nosakām aizsegto sākotnējā starojuma daļu:

$$r = \frac{I_1 - I_2}{I_1} = 1 - \frac{I_2}{I_1} = 1 - \frac{1}{2,63} = 62 \%$$

**I** Ar kuriem no minētajiem instrumentiem varētu izšķirt Betelgeizes disku (leņķiskais diametrs ap 42 mas)? (1 p)

- Ventspils radioteleskops (diametrs 32 m, viļņa garums 3,5 cm)
- Habla kosmiskais teleskops tuvā infrasarkanā starojumā (diametrs 2,4 m, viļņa garums 1 μm)
- **Ļoti lielais teleskops (VLT, diametrs 8 m, viļņa garums 0,6 μm) ar aktīvo un adaptīvo optiku**
- Ļoti lielais teleskops (VLT, diametrs 8 m, viļņa garums 0.6 μm) ar aktīvo optiku
- **ALMA mikroviļņu teleskopu masīvs (66 teleskopi, katra teleskopa diametrs 12 m, lielākais attālums starp teleskopiem ap 16 km, viļņa garums 1,2 mm)**

**Risinājums**

Teleskopa izšķirtspēju  $\vartheta$  nosaka Releja kritērijs. Nosakām katra teleskopa izšķirtspēju un salīdzinām ar Betelgeizes leņķisko diametru 42 mas.

- Ventspils radioteleskopam  $\vartheta = 1,22 \cdot \frac{0,035 \text{ m}}{32 \text{ m}} = 0,00133 \text{ rad} = 275''$  - disku izšķirt nevar
- Habla teleskopam  $\vartheta = 1,22 \cdot \frac{10^{-6} \text{ m}}{2,4 \text{ m}} = 5 \cdot 10^{-7} \text{ rad} = 0,10''$  - disku izšķirt nevar
- VLT ar aktīvo un adaptīvo optiku sasniedz gaismas difrakcijas (Releja kritērija) noteikto leņķisko izšķirtspēju,  $\vartheta = 1,22 \cdot \frac{0,6 \cdot 10^{-6} \text{ m}}{8 \text{ m}} = 9 \cdot 10^{-8} \text{ rad} = 0,019''$  - ar grūtībām **var izšķirt disku**
- Bez adaptīvās optikas izšķirtspēju ierobežo atmosfēras turbulence, kas ir vismaz 0.3''.
- ALMA masīvam  $\vartheta = 1,22 \cdot \frac{1,2 \cdot 10^{-3} \text{ m}}{16 \cdot 10^3 \text{ m}} = 9 \cdot 10^{-8} \text{ rad} = 0,019''$  - ar grūtībām **var izšķirt disku**

## 5. PĀRNOVAS NOVĒROJUMI

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



Abell 2256 galaktiku kopa (sarkanā nobīde  $z = 0,058$ )

Attēla avots: <https://www.cloudynights.com/topic/445876-abel-2256-cluster-of-overlapping-galaxy-halos/>

2000. gada beigās astronoms Jānis Ozoliņš novēroja la tipa pārnovu tā spožuma maksimuma laikā ar teleskopu, kura galvenā spoguļa diametrs ir 40 cm un efektivitāte ir 60% (tas ir, aptuveni 60% no ienākošās gaismas iziet caur optisko sistēmu un tiek reģistrēta uz gaismas detektora). Salīdzinot attēlu, kas uzņemts pirms pārnovas uzliesmojuma, ar otru uzņēmumu tās maksimuma laikā (sk. attēlu), viņš ieguva, ka no pārnovas 120 sekunžu ekspozīcijas laikā viņš saņēma 152 fotonus, kuru vidējais viļņa garums ir 0.6 mikrometri.



Galaktikas novērojums pirms la tipa pārnovas uzliesmojuma un tā laikā.

Attēla avots: <https://www2.lbl.gov/Science-Articles/Archive/supernova-metallicity.html>

A Cik liela enerģija ir vienam fotonam ar viļņa garumu 0.6 mikrometri? (1 p)

### Risinājums

Fotona enerģija ir

$$E_{\gamma} = h\nu = \frac{hc}{\lambda} = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{0,6 \cdot 10^{-6}} = 3,31 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

**B** Cik liels ir izmantotā teleskopa spoguļa efektīvais laukums (100% efektīva teleskopa spoguļa laukums, kurš ir tikpat jutīgs kā izmantotais teleskops)? (1 p)

#### Risinājums

Faktiskais teleskopa laukums ir

$$S = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,4^2}{4} = 0,1257 \text{ m}^2$$

Efektīvi tiek izmantoti tikai  $\eta = 60\%$  no šī laukuma vai  $S_{eff} = \eta S = 0,6 \cdot 0,1257 = \mathbf{0,0754 \text{ m}^2}$

**C** Cik liels ir pārnovas gaismas radītais apgaismojums uz Zemes virsmas (enerģija, kas krīt katru sekundi uz laukuma vienību, kas ir perpendikulāra starojuma izplatīšanas virzienam)? (1 p)

#### Risinājums

Apgaismojums  $E$  ir saņemtā enerģija laika vienībā uz laukuma vienību. No dotā un iepriekšējiem aprēķiniem zinām, ka  $t = 120$  sekunžu laikā uz efektīvā laukumu  $S_{eff} = 0,0754 \text{ m}^2$  nonāca  $N = 152$  fotoni, un katra fotona enerģija bija  $E_\gamma = 3,31 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ . (skat. A jautājuma risinājumu)

Līdz ar to

$$E = \frac{N E_\gamma}{S_{eff} t} = \frac{152 \cdot 3,31 \cdot 10^{-19} \text{ J}}{0,0754 \text{ m}^2 \cdot 120 \text{ s}} = \mathbf{5,56 \cdot 10^{-18} \text{ W/m}^2}$$

Lai izrēķinātu attālumu līdz pārnovai, Jānis nolēma salīdzināt tās radīto apgaismojumu ar Saules radīto apgaismojumu tajā pašā spektrālajā joslā. Saskaņā ar literatūras datiem, viņa izmantotais redzamās gaismas detektors ir jutīgs viļņa garuma diapazonā no  $\lambda_1 = 450 \text{ nm}$  līdz  $\lambda_2 = 750 \text{ nm}$ , pie tam jutība nav atkarīga no viļņa garuma.

Viņš arī noteica, ka Saules spektrālais apgaismojums šajā viļņa garumu diapazonā ir aptuveni konstants un vienāds ar  $k_\lambda = 1,3 \text{ W/m}^2/\text{nm}$  (katrā viļņu garuma diapazonā, kura platums ir  $1 \text{ nm}$ , katrs kvadrātmetrs Zemes virsmas saņem no Saules  $1.3 \text{ W}$ ).

**D** Cik liels ir Saules radītais apgaismojums izmantotajā redzamās gaismas spektrālā joslā? (1 p)

#### Risinājums

Apgaismojums visā joslā ir katrā mazā viļņa garumu intervāla apgaismojumu summa. Tā kā katrā viļņu garuma intervāla apgaismojums ir vienāds, tad spektrālais apgaismojums jāpareizina ar viļņa garuma diapazona platumu:

$$E_\odot = k_\lambda \cdot (\lambda_2 - \lambda_1) = 1,3 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ nm}} \cdot 300 \text{ nm} = \mathbf{390 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}}$$

Ir zināms, ka la tipa pārnovas starjau da spožuma maksimumā ir vienāda ar  $L_{SN} = 4 \cdot 10^9 L_\odot$ , kur  $L_\odot$  ir Saules starjau da. Tālākiem aprēķiniem izmantojiet pārnovas radīto apgaismojumu  $E_{SN} = 8,4 \cdot 10^{-16} \text{ W/m}^2$  un Saules apgaismojumu  $E_\odot = 580 \text{ W/m}^2$  (vērtības var atšķirties no iepriekš iegūtajām).

**E** Nosakiet attālumu līdz pārnovai! Atbildi izsakiet megaparsekos. (1 p)

#### Risinājums

No apgriezto kvadrātu likuma  $E = \frac{L}{4\pi r^2}$  iegūsim attālumu līdz pārnovai

$$r = \sqrt{\frac{L_{SN}}{4\pi E_{SN}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 10^9 L_{\odot}}{4\pi E_{SN}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 10^9 \cdot 4\pi r_{\odot}^2 E_{\odot}}{4\pi E_{SN}}} = r_{\odot} \sqrt{\frac{4 \cdot 10^9 \cdot E_{\odot}}{E_{SN}}}$$

Ievietojot skaitļus, iegūsim

$$r = \sqrt{\frac{4 \cdot 10^9 \cdot 580 \text{ W/m}^2}{8,4 \cdot 10^{-16} \text{ W/m}^2}} \cdot 1 \text{ au} = 5,255 \cdot 10^{23} \text{ au} = \mathbf{255 \text{ Mpc}}$$

Pārnova uzsprāga kādā galaktikā, kas atrodas Abell 2256 galaktiku kopā, kuras sarkanā nobīde pēc literatūras datiem ir  $z_{\text{kopa}} = 0,058$ .

Novērojot pārnovu ar citiem instrumentiem, tika atsevišķi noteikta galaktikas sarkanā nobīde, kurā uzsprāga pārnova; vērtība izrādījās  $z_{\text{gal}} = 0,059$ .

Sarkanā nobīde, kura tika noteikta pēc pārnovas spektra, ir  $z_{SN} = 0,046$ . Pieņemsim, ka visi trīs mērījumi ir patiesi un neievērosim mērījuma kļūdas.

**F** Kāpēc pārnovas spektrālīniju sarkanā nobīde tik stipri atšķiras no galaktikas sarkanās nobīdes vērtības? (1 p)

- **Jo starojums veidojas no pārnovas izmestajā vielas čaulā, kas izplešas ar lielu ātrumu.**
- Jo zvaigzne, kura radās la tipa pārnovas sprādzienā, ar lielu ātrumu tika izmesta no galaktikas
- la tipa pārnovas galvenokārt veidojas no zvaigznēm ar lielu īpaškostību, tāpēc liela sarkanās nobīdes atšķirība nav nekas īpašs
- Starojums rodas pārnovas centrālajā daļā, un novēroto sarkano nobīdi ietekmē šī apgabala stiprais gravitācijas lauks

#### Risinājums

Radiālais ātrums, kas atbilst  $\Delta z = 0,013$  sarkanās nobīdes starpībai, ir

$$v_r = c \cdot \Delta z = 300\,000 \frac{\text{km}}{\text{s}} \cdot 0,013 = 3\,900 \frac{\text{km}}{\text{s}}$$

Tas ir daudz lielāks nekā zvaigžņu kustības ātrums galaktikās (Piena Ceļa galaktikā: ap 200 km/s) un pat lielāks nekā ātrāko Piena Ceļa zvaigžņu kustības ātrums (ap 1200 km/s).

**G** Kāpēc galaktiku kopas sarkanā nobīde atšķiras no tai piederošās vienas galaktikas sarkanās nobīdes? (1 p)

- Tas ir mērījumu nenoteiktību rezultāts; sarkano nobīdi ir grūti izmērīt ar lielu precizitāti.
- Gaismu viļņu garumus, un līdz ar to arī sarkano nobīdi, ietekmē Piena Ceļa galaktikas starpzvaigžņu vides magnētiskais lauks.
- **Atšķirība rodas tāpēc, ka šī galaktika kustās attiecībā pret galaktiku kopas centru.**
- Ceļā līdz novērotājam notiek diferencēta fotonu novecošanās.

#### Risinājums

Šeit sarkano nobīžu starpība 0,001 atbilst radiālajam kustības ātrumam 300 km/s, kas ir pilnīgi iespējamais galaktikas kustības ātrums galaktikas kopas iekšienē.

**H** Kura no trim sarkanās nobīdes  $z$  vērtībām ir izmantojama Habla konstantes noteikšanai un kāpēc? (1 p)

- Pašas zvaigznes sarkanā nobīde, jo starjaudai un sarkanai nobīdei jāattiecas uz vienu un to pašu objektu
- Galaktikas sarkanā nobīde, jo pārnovas spektru ietekmē pašas zvaigznes kustība
- **Galaktiku kopas sarkanā nobīde, jo Habla-Lemētra likums saista telpas izplešanos ar sarkano nobīdi, un galaktiku kopa mazāk kustas attiecībā pret "telpu", nekā atsevišķa galaktika**
- Vidējā vērtība no visām trim, jo vidējojot tiek samazināta kļūda.

I Nosakiet Habla konstanti, izmantojot Habla-Lemētra likumu! Pieņemiet, ka attālums līdz pārnovai ir 220 Mpc un sarkanās nobīdes vērtība ir 0,057. (1 p)

#### Risinājums

Habla-Lemētra likums ir  $cz = H_0 r$ , no kurienes Habla konstante ir

$$H_0 = \frac{cz}{r} = \frac{300\,000 \frac{\text{km}}{\text{s}} \cdot 0,057}{220 \text{ Mpc}} = 77,73 \frac{\text{km}}{\text{s Mpc}}$$

Vērtību, kas ir apgriezta Habla konstantei, bieži vien sauc par Habla laiku, jo tas ir tuvs Visuma vecumam.

J No 2000. gadā pieņemtās Habla konstantes vērtības  $H_0 = 75 \text{ km/s/Mpc}$  nosakiet Habla laiku un izsakiet to miljardos gadu! (1 p)

#### Risinājums

Atbildi iegūst pārveidojot mērvienības

$$t_H = \frac{1}{H_0} = \frac{1}{75} \cdot \frac{\text{Mpc}}{\text{km}} \cdot \text{s} = \frac{1}{75} \cdot 3,086 \cdot 10^{19} \cdot \frac{1}{3,154 \cdot 10^7} \text{ gadi} = 1,31 \cdot 10^{10} \text{ gadi} = 13,1 \text{ Gigagadi (Gyr)}$$