

Lietuvos mokinių septynioliktoji astronomijos olimpiada

Pirmas turas

XI-XII klasių mokiniai

1 uždavinys (10 taškų)

Tyrinėjant kompaktišką molekulinį debesį radioteleskopu ties 18 cm bangos ilgiu užregistruotas hidroksilo (OH) molekulės mazerinis spinduliavimas, kurio intensyvumas kinta maždaug 5 min ciklu. Įvertinkite maksimalų šio debesies skersmenį.

Sprendimas

Debesies matmenys negali viršyti atstumo, kurį radijo bangos nusklis per duotą kitimo ciklo trukmę, nes kitaip radijo signalai iš skirtingų debesies taškų persiklos (nebus sinchroniški) ir jokio intensyvumo kitimo nepastebėsime. Todėl debesies skersmuo turi tenkinti sąlygą

$$D \leq cP$$

Čia c – šviesos greitis, P – intensyvumo kitimo cikliškumas.

Apskaičiuojame

$$D \leq 3 \times 10^8 \times 5 \times 60 = 9 \times 10^{10} \text{ m} = 0,6 \text{ av}$$

Atsakymas: Debesies skersmuo: 0,6 av.

2 uždavinys (10 taškų)

Nežemiškos civilizacijos erdvėlaivis, skriejantis Galaktikoje, kažkuriuo laiku atsidūrė spindulyje, jungiančiame dvi žvaigždes: mūsų Saulę ir Arktūrą. Tuo metu erdvėlaivyje buvęs stebėtojas nustatė, kad Saulės ir Arktūro ryškiai V yra visiškai vienodi (tos civilizacijos astronomai taip pat naudojo UBV ryškių sistemą).

Raskite:

- 1) Kokiam nuotolyje nuo Saulės tuo metu buvo erdvėlaivis. Atstumą apskaičiuokite parsekais.
- 2) Kokį šių žvaigždžių regimąjį ryškį tuo metu nustatė erdvėlaivio stebėtojas.

Žemės astronomams žinoma, kad Arktūro paralaksas $p = 88,83$ mas (kampinės milisekundės) ir regimasis ryškis $V = -0,05$, o Saulės absoliutinis ryškis $M_{\odot V} = 4,83$.

Sprendimas

1) Saulės atstumas nuo erdvėlaivio

Apskaičiuojame Arktūro atstumą nuo Saulės ir absoliutinį ryškį. Jų mums prireiks toliau.

$$r_A = \frac{1}{p_A} \text{ ir } M_{AV} = V_A + 5 \log p_A + 5$$

Čia M_{AV} – Arktūro absoliutinis ryškis, V_A – Arktūro regimasis ryškis (stebint iš Žemės) ir p_A – Arktūro paralaksas.

$$r_A = \frac{1}{0,08883} = 11,257 \text{ pc ir } M_{AV} = -0,05 + 5 \log 0,08883 + 5 = -0,31$$

Stebėjimo vietoje (iš erdvėlaivio) Saulės ir Arktūro regimieji ryškiai buvo atitinkamai lygūs:

$$V_{\odot S} = M_{\odot V} + 5 \log r_{\odot S} - 5$$

$$V_{As} = M_{AV} + 5 \log r_{As} - 5$$

Čia $M_{\odot V}$ – Saulės absoliutinis ryškis, o $r_{\odot S}$ ir r_{As} – atitinkamai Saulės ir Arktūro nuotoliai nuo stebėjimo vietos (iš erdvėlaivio).

Pagal uždavinio sąlygą $V_{\odot S} = V_{As}$. Taigi,

$$M_{\odot V} + 5 \log r_{\odot S} = M_{AV} + 5 \log r_{As}$$

$$5 \log \frac{r_{As}}{r_{\odot S}} = M_{\odot V} - M_{AV}$$

$$\frac{r_{As}}{r_{\odot S}} = 10^{0,2(M_{\odot V} - M_{AV})}$$

$$\frac{r_{As}}{r_{\odot S}} = 10,666$$

Šioje formulėje du nežinomieji. Tačiau iš uždavinio sąlygos išplaukia, kad

$$r_A = r_{\odot S} + r_{As}$$

Taigi

$$r_{\odot S} + 10,666r_{\odot S} = 11,257$$

$$r_{\odot S} = 0,965 \text{ pc}$$

Apskaičiuokime ir Arktūro atstumą nuo stebėjimo vietos. Jo reikės toliau.

$$r_{As} = r_A - r_{\odot S} = 11,257 - 0,965 = 10,292 \text{ pc}$$

2) Žvaigždžių regimasis ryškis iš erdvėlaivio

Stebėjimo vietoje (iš erdvėlaivio) Saulės ir Arktūro regimieji ryškiai:

$$V_{\odot S} = 4,83 + 5 \log 0,965 - 5 = -0,25$$

$$V_{As} = -0,31 + 5 \log 10,292 - 5 = -0,25$$

Taigi, kaip ir buvo apibrėžta uždavinio sąlygoje, stebėjimo vietoje Saulės ir Arktūro regimieji ryškiai yra vienodi.

- Atsakymai:
- 1) *Erdvėlaivio atstumas nuo Saulės: 0,965 pc.*
 - 2) *Saulės ir Arktūro regimieji ryškiai iš erdvėlaivio: -0,25 mag.*

3 uždavinys (10 taškų)

Elipsinės galaktikos, kurios regimasis ryškis $m_B = 13,9$ ir kampinis skersmuo $\theta = 1,2'$ (kampinės minutės), spektre ties $\lambda = 534,6 \text{ nm}$ identifiukuota neutralaus magnio sugerties linija, kurios laboratorinis bangos ilgis $\lambda_0 = 517,0 \text{ nm}$. Apskaičiuokite šios galaktikos atstumą, absoliutųjį ryškį ir linijinį skersmenį. Hubble konstanta $H_0 = 73 \text{ (km/s)/Mpc}$.

Sprendimas

Elipsinės galaktikos raudonasis poslinkis lygus

$$z = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0} = \frac{534,6 - 517,0}{517,0} = 0,034$$

Remiantis Hubble dėsnio atstumas iki galaktikos lygus

$$r = \frac{cz}{H_0} = \frac{300000 \times 0,034}{73} \cong 140 \text{ Mpc}$$

Galaktikos absoliutusias ryškis lygus

$$M_B = m_B - 5 \log r + 5 = 13,9 - 5 \log(140 \times 10^6) + 5 = -21,8$$

Galaktikos linijinį skersmenį apskaičiuosime panaudodami mažų kampų formulę:

$$D = r\theta$$

Čia kampinis skersmuo turi būti išreikštas radianais.

$$D = 140 \frac{1,2 \times 60}{206265} = 0,049 \text{ Mpc} = 49 \text{ kpc}$$

Atsakymas: Galaktikos atstumas: 140 Mpc

Absoliutusias ryškis: $-21,8$

Skersmuo: 49 kpc

4 uždavinys (20 taškų)

Cefeidėmis arba Cefėjo delta (δ Cep) tipo kintamosiomis žvaigždėmis vadinamos pulsuojančios kintamosios žvaigždės pagal būdingą prototipą Cefėjo delta (δ Cet) žvaigždę. Šioms kintamosioms žvaigždėms būdingas gana stabilus spindesio kitimo periodas ir amplitudė.

Šiame uždavinyje 4.1 pav. pateiktas vienos cefeidės spindesio kitimo priklausomybės nuo laiko grafikas (spindesio kitimo kreivė). Grafike regimasis spindesys išreikštas ryškiais, o laikas – Julijaus dienomis (JD).

Užduotys:

1) Nustatykite spindesio kitimo periodą dienomis (laiko intervalą tarp dviejų gretimų spindesio maksimumų). Tam tikslui grafike kuo tiksliau įvertinkite laiko skalės (abscisės) mastelį, išmatuokite atstumus tarp maksimumų ir apskaičiuokite spindesio kitimo periodą. (šiuo atveju spindesio minimumų padėtys nustatomos mažesniu tikslumu, todėl jų nenaudokite).

2) Įvertinkite spindesio kitimo amplitudę ryškiais ($\Delta V = V_{\min} - V_{\max}$). Tam tikslui grafike kuo tiksliau įvertinkite ryškių skalės (ordinatės) mastelį ir išmatuokite atstumus tarp spindesio minimumo ir maksimumo. Apskaičiuokite cefeidės vidutinį ryškį.

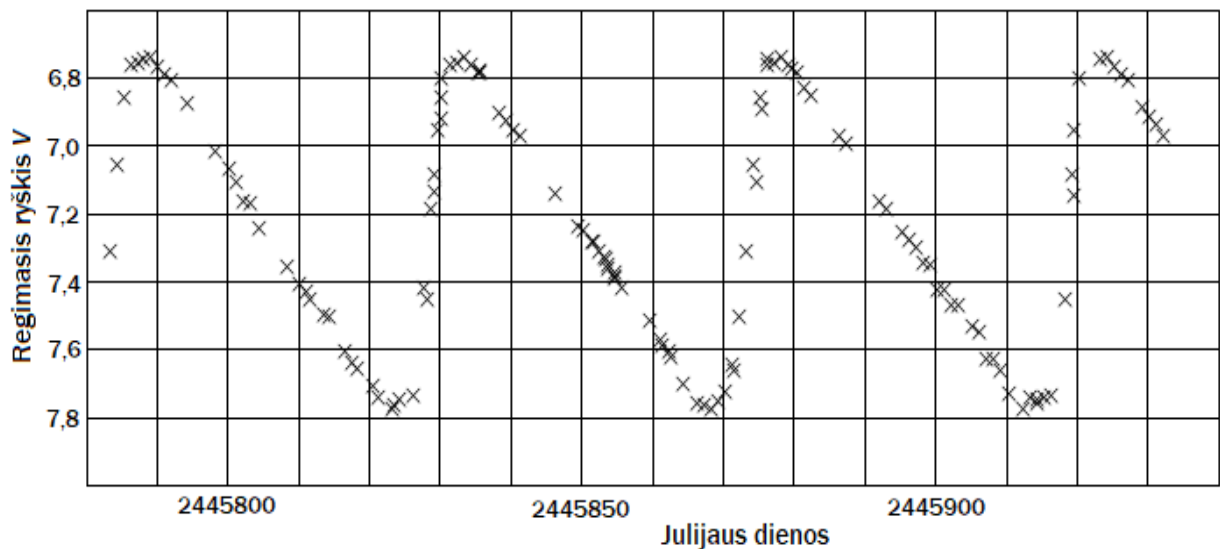
3) Apskaičiuokite cefeidės vidutinį absoliutųjį ryškį M_V . Pasinaudokite cefeidžių absoliučiojo ryškio ir spindesio kitimo periodo sąryšiu:

$$M_V = -2,77 \log P - 1,44$$

Čia P – spindesio kitimo periodas, išreikštas dienomis.

4) Apskaičiuokite cefeidės atstumą (parsekais), jei jos tarpžvaigždinė ekstinkcija $A_V = 1,40$. (Naudokite cefeidės vidutinį ryškį)

5) Žinoma, kad cefeidės spindesio periodišką kitimą sukelia jos pulsacijos, kurių metu periodiškai keičiasi jos temperatūra ir spindulys. Apskaičiuokite šios cefeidės spindulio spindesio maksimume santykį su jos spinduliu spindesio minimume R_{\max}/R_{\min} . Spindesio maksimume cefeidės temperatūra $T_{\max} = 6000 \text{ K}$ ir bolometrinė pataisa $BC_{\max} = -0,06$, o spindesio minimume – temperatūra $T_{\min} = 4700 \text{ K}$ ir bolometrinė pataisa $BC_{\min} = -0,50$.



4.1 pav. Cefeidės spindesio kitimo grafikas. Spindesio maksimumai atitinka mažiausias regimojo ryškio vertes, o minimumai – didžiausias regimojo ryškio vertes

Sprendimas

1) Spindesio kitimo periodas

Iš grafiko (žr. 4.1a pav.) nustatome: pirmojo maksimumo data – 2445789 JD; paskutinio, ketvirtojo maksimumo data – 2445924 JD. Tarp šių maksimumų telpa 3 pilni spindesio kitimo periodai. Taigi, cefeidės spindesio kitimo periodas lygus

$$P = \frac{2445924 - 2445789}{3} = 45 \text{ d}$$

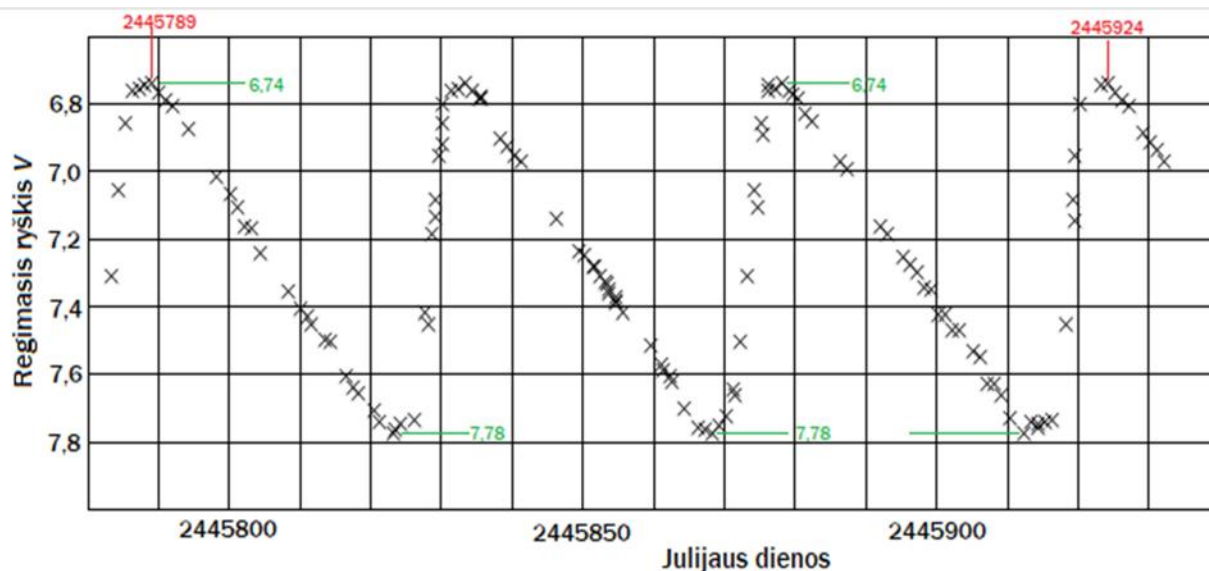
2) Vidutinė spindesio kitimo amplitudė

Iš grafiko matome, kad visi spindesio maksimumai yra vienodame aukštyje. Pagal ordinatės ašies mastelį įvertiname, kad ryškio vertė spindesio maksimume lygi $V_{max} = 6,74$. Visi spindesio minimumai taip pat vienodame lygyje; ryškio vertė spindesio minimume lygi $V_{min} = 7,78$. Taigi, spindesio kitimo amplitudė

$$\Delta V = V_{min} - V_{max} = 7,78 - 6,74 = 1,04$$

Cefeidės vidutinis ryškis

$$V_{vid} = \frac{V_{min} + V_{max}}{2} = \frac{7,78 + 6,74}{2} = 7,26$$



4.1a pav. Cefeidės spindesio kitimo grafikas. Pažymėtos ryškių vertės spindesio minimumuose ir maksimumuose. Spindesio maksimumai atitinka mažiausias regimojo ryškio vertes, o minimumai – didžiausias regimojo ryškio vertes

3) Cefeidės vidutinis absoliutusias ryškis

$$M_V = -2,77 \log 45 - 1,44 = -6,02$$

4) Cefeidės atstumas

$$\log r = \frac{V_{vid} - M_V + 5 - A_V}{5} = \frac{7,26 + 6,02 + 5 - 1,40}{5} = 3,376$$

$$r = 2377 \text{ pc}$$

5) Cefeidės spindulių santykis

Cefeidės absoliutusias bolometrinis šviesis spindesio maksimume

$$M_{bmax} = M_V + BC_{max} - \frac{\Delta V}{2} = -6,02 - 0,06 - \frac{1,04}{2} = -6,60$$

Cefeidės absoliutusias bolometrinis šviesis spindesio minimume

$$M_{bmin} = M_V + BC_{min} + \frac{\Delta V}{2} = -6,02 - 0,50 + \frac{1,04}{2} = -6,00$$

Žinome, kad

$$M_{bmax} - M_{bmin} = -2,5 \log \frac{L_{max}}{L_{min}}$$

Čia L – cefeidės šviesis spindesio maksimume arba minimume.

Apskaičiuojame šviesių maksimume ir minimume santykį

$$\log \frac{L_{max}}{L_{min}} = \frac{M_{bmax} - M_{bmin}}{-2,5} = \frac{-6,60 + 6,00}{-2,5} = 0,24$$

$$\frac{L_{max}}{L_{min}} = 1,738$$

Tariame, kad cefeidė spinduliuoja kaip juodas kūnas. Tada

$$L = 4\pi R^2 \sigma T_{ef}^4$$

$$\frac{L_{max}}{L_{min}} = \left(\frac{R_{max}}{R_{min}} \right)^2 \left(\frac{T_{efmax}}{T_{efmin}} \right)^4$$

$$\frac{R_{max}}{R_{min}} = \left(\frac{T_{efmin}}{T_{efmax}} \right)^2 \sqrt{\frac{L_{max}}{L_{min}}}$$

$$\frac{R_{max}}{R_{min}} = \left(\frac{4700}{6000} \right)^2 \sqrt{1,738} \approx 0,8$$

Atsakymai:

- 1) Spindesio kitimo periodas: 45 dienos.
- 2) Vidutinė spindesio kitimo amplitudė (ryškiais): 1,04.
- 3) Cefeidės vidutinis absoliutusias ryškis: -6,02.
- 4) Cefeidės atstumas: 2377 pc.
- 4) Cefeidės spindulio (spindesio) maksimume santykis su spinduliu (spindesio) minimume: 0,8.