

Lietuvos mokinių dvidešimt antroji astronomijos olimpiada

Atrankinis etapas

XI – XII klasių mokiniai

1. Kintamoji žvaigždė (10t)

Kintamosios žvaigždės spindesys kinta dėl to, kad keičiasi jos temperatūra ir matmenys. Nustatyta, kad šviesis vizualiojo spindesio minimume yra 2,2 karto didesnis už šviesį spindesio maksimume. Didžiausią energijos kiekį žvaigždė spinduliuoja vizualiojo spindesio maksimume 341 nm, o spindesio minimume – 83 nm bangomis.

Apskaičiuokite kintamosios žvaigždės spindulio vizualiojo spindesio maksimume santykį su jos spinduliu spindesio minimume.

Sprendimas

Apskaičiuojame žvaigždės efektingą temperatūrą spindesio maksimume ir minimume panaudodami Vyno poslinkio dėsnį:

$$T_{\max} = \frac{b}{\lambda_{\max}} = \frac{0,0029}{341 \cdot 10^{-9}} \cong 8500 \text{ K}$$

$$T_{\min} = \frac{b}{\lambda_{\min}} = \frac{0,0029}{83 \cdot 10^{-9}} \cong 35000 \text{ K}$$

Remiantis Stefano ir Bolcmano dėsniumi žvaigždės šviesis lygus

$$L = 4\pi R^2 \sigma T_e^4$$

Pagal uždavinio sąlygą

$$L_{\min} = 2,2L_{\max}$$

Taigi,

$$4\pi R_{\min}^2 \sigma T_{\min}^4 = 2,2 \cdot 4\pi R_{\max}^2 \sigma T_{\max}^4$$

$$\frac{R_{\max}}{R_{\min}} = \frac{1}{\sqrt{2,2}} \frac{T_{\min}^2}{T_{\max}^2} = \frac{1}{\sqrt{2,2}} \frac{35000^2}{8500^2} \cong 11$$

Atsakymas: 11 kartų.

2. Galaktikos juodosios skylės masė (15t)

Su James Webb kosminiu teleskopu buvo tyrinėtas tolimos galaktikos spinduliuotės spektro ruožas, apimantis vandenilio Balmerio serijos emisijos liniją H α . Šios galaktikos spektrinio spinduliuotės srauto tankio skirstinys, apimantis šią liniją, pateiktas 2.1 pav. grafike, kuriame raudona kreivė pažymėtas emisijos linijos plačiosios komponentės profilis. Šios komponentės spinduliuotės srauto tankis (intensyvumas) lygus $F = 2 \cdot 10^{-18} \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$.

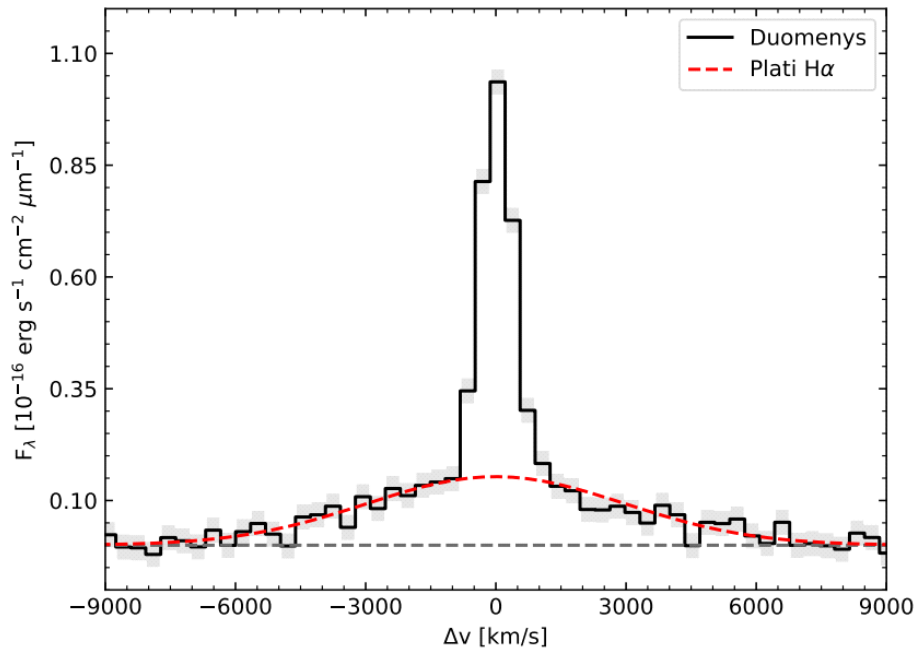
Tardami, kad šią plačiąją linijos komponentę spinduliuoja aktyviosios juodosios skylės (JS) aplinkoje esančios dujos, raskite šios juodosios skylės masę.

Galaktikos raudonasis poslinkis $z = 7$, o šviesio atstumas iki jos lygus $d = 70500 \text{ Mpc}$.

Juodosios skylės masė Saulės masės vienetais apskaičiuojama panaudojant H α linijos plačiosios komponentės matavimus pagal formulę:

$$\lg \frac{M_{\text{JS}}}{M_{\odot}} = 6,60 + 0,47 \lg \frac{L_{\text{H}\alpha}}{10^{42}} + 2,06 \lg \frac{(FWHM)_{\text{H}\alpha}}{1000}$$

čia $L_{H\alpha}$ – šviesis, įvertintas pagal $H\alpha$ linijos plačiosios komponentės emisiją, išreikštas erg/s, $(FWHM)_{H\alpha}$ – šios komponentės plotis ties jos emisijos maksimumo puse, išreikštas km/s.



2.1 pav. Galaktikos spektrinio spinduliuotės srauto tankio skirstinys ties $H\alpha$ linija

Sprendimas

Panaudodami duotą šviesio atstumą ir spinduliuotės srauto tankį (intensyvumą) apskaičiuojame šviesį:

$$L_{H\alpha} = 4\pi d^2 F = 4\pi(70500 \cdot 10^6 \cdot 3,086 \cdot 10^{18})^2 \cdot 2 \cdot 10^{-18} \cong 1,19 \cdot 10^{42} \text{ erg s}^{-1}$$

Atkreipkite dėmesį, kad galaktikos atstumas šioje formulėje turi būti išreikštas centimetrais.

$(FWHM)_{H\alpha}$ nustatome duotame grafike (2.1 pav.) išmatavę linijos plačiosios komponentės (raudonosios kreivės) plotį ties emisijos maksimumo puse. Gauname $(FWHM)_{H\alpha} = 7000 \text{ km s}^{-1}$.

Gautas vertes įstatome į sąlygoje duotą formulę ir apskaičiuojame juodosios skylės masę:

$$\lg \frac{M_{JS}}{M_{\odot}} = 6,60 + 0,47 \lg \frac{1,189 \cdot 10^{42}}{10^{42}} + 2,06 \lg \frac{7000}{1000} \cong 8,38$$

$$M_{JS} = 10^{8,38} \cong 2,4 \cdot 10^8 M_{\odot}$$

3. Kur niekada nenusileidžia (nepateka) Kapela (10t)

Kuriose iš lentelėje nurodytų geografinių platumų Kapela (α Aur, Vežėjo α), kurios deklinacija $\delta = 46^{\circ}00'$, a) niekada nenusileidžia? b) niekada nepateka?

A	B	C	D	E	F	G
$55^{\circ}00' \text{ N}$	$44^{\circ}30' \text{ N}$	$55^{\circ}00' \text{ S}$	$44^{\circ}30' \text{ S}$	$65^{\circ}00' \text{ N}$	$43^{\circ}30' \text{ N}$	$43^{\circ}30' \text{ S}$

N – (North) šiaurės platumas; S – (South) pietų platumas.

Atsakymai turi būti pagrįsti skaičiavimais.

Sprendimas

a) Reikėtų nagrinėti du atvejus: 1) neatsižvelgiant į refrakciją ir 2) atsižvelgiant į refrakciją.

Jei neatsižvelgsime į refrakciją, tai nenusileidžiantys šviesuliai šiaurės platumose bus tie, kurių aukštis apatinėje kulminacijoje tenkins sąlygą:

$$h = 0^{\circ} \leq \varphi + \delta - 90^{\circ}$$

Iš čia

$$\varphi \geq 90^\circ - \delta$$
$$\varphi \geq 90^\circ - 46^\circ 00' = 44^\circ 00' \text{ N}$$

Taigi, jei neatsižvelgsime į refrakciją, tai Kapela nenusileis šiose vietovėse: A, B, E.

Jei atsižvelgsime į refrakciją, tai šviesulio aukštis ties horizontu padidėja dydžiu $\rho = 35'$. Vadinasi, šviesulys bus matomas geografinėse platumose, kurios tenkina sąlygą:

$$\varphi \geq 90^\circ - \delta - \rho$$
$$\varphi \geq 90^\circ - 46^\circ 00' - 35' = 43^\circ 25' \text{ N}$$

Taigi, jei atsižvelgsime į refrakciją, tai Kapela nenusileis šiose vietovėse: A, B, E, F.

b) Jei neatsižvelgsime į refrakciją, tai remiantis dangaus sferos simetrija, Kapela niekada nepatekės tose pietų platumose, kurios tenkins sąlygą:

$$\varphi \geq 90^\circ - \delta$$
$$\varphi \geq 90^\circ - 46^\circ 00' = 44^\circ 00' \text{ S}$$

Taigi, jei neatsižvelgsime į refrakciją, tai Kapela niekada nepatekės šiose vietovėse: C, D.

Jei atsižvelgsime į refrakciją, tai Kapela niekada nepatekės tose pietų platumose, kurios tenkins sąlygą:

$$\varphi \geq 90^\circ - \delta - \rho$$
$$\varphi \geq 90^\circ - 46^\circ 00' + 35' = 44^\circ 35' \text{ S}$$

Taigi, jei atsižvelgsime į refrakciją, tai Kapela niekada nepatekės šiose vietovėse: C.

4. Saulė pro H α filtrą (10t)

Su 500 mm židinio nuotolio ir 200 mm apertūros (veidrodžio skersmens) teleskopu planuojama stebėti Saulę su šviesos filtru, kurio pralaidumo juostos vidutinis bangos ilgis atitinka vandenilio Balmerio serijos linijos H α ilgį $\lambda_\alpha = 656,3 \text{ nm}$.

a) Kokio židinio nuotolio okuliarą reikia naudoti, kad regimasis Saulės diskas užpildytų visą regėjimo lauką? Tarkite, kad okuliario regimasis laukas yra lygus 50° .

b) Kokio mažiausio dydžio darinius chromosferos paviršiuje galima išskirti su šiuo teleskopu?

c) Paaiškinkite, su kokia praktine stebėjimo problema bus susiduriama šiuo teleskopu žiūrint į chromosferos darinius bent kelis kartus didesniu didinimu, nei pateikta a) dalyje.

Sprendimas

a) Saulės kampinis skersmuo lygus $\theta_\odot = 32'$, todėl turi būti naudojamas didinimas

$$\Gamma = \frac{\theta}{\theta_\odot} = \frac{50 \cdot 60}{32} = 94.$$

Tai atitinka okuliario židinio nuotolį

$$f = \frac{F}{\Gamma} = \frac{500}{94} = 5,3 \text{ (mm)}.$$

b) Naudoti H α filtrą yra būtina, nes kitaip chromosferos šviesą užgožtų fotosfera. Kampinis dydis, kurį dar galima išskirti su šiuo teleskopu, pagal Reilio kriterijų:

$$\theta = 1,22 \frac{\lambda_\alpha}{D},$$
$$\theta = 1,22 \frac{656,3 \cdot 10^{-9}}{0,2} = 4,0 \cdot 10^{-6} \text{ (rad)}.$$

Pagal mažų kampų formulę įvertinamas darinio chromosferoje ribinis dydis:

$$l = \theta d = 4,0 \cdot 10^{-6} \cdot 1,496 \cdot 10^{11} = 6 \cdot 10^5 \text{ (m)}.$$

c) Regėjimo laukas, nustatytas a) dalyje, yra žymiai didesnis už mažiausią teleskopu išskiriamą kampinį dydį, nustatytą b) dalyje, todėl teleskopo kampinė skyra neturėtų riboti stebėjimų su bent kelis kartus didesniu didinimu. Visgi, naudojant mažesnio židinio nuotolio okuliarą didesniams didinimui gauti, mažėja lęšio, prie kurio pridedama akis, kreivumo spindulys ir dydis. Stebėjimams naudojant mažesnę nei 5,3 mm židinio nuotolio okuliarą, sritis kurioje turi būti akis, kad gerai matytų teleskopu surinktą šviesą pasidarys labai maža. Taigi, stebėjimai su didesniu didinimu taps sudėtingi, nes reikės labai tikslios akies padėties okuliario atžvilgiu.

5. Parausvėjusi Vega (15t)

Vega (Lyros α) yra balta žvaigždė, kurios regimasis ryškis $V_V = 0,03$ ir $B_V = 0,03$. Arktūras (Jaučiaganio α) yra oranžinė žvaigždė, kurios regimasis ryškis $V_A = -0,05$ ir $B_A = 1,18$. Tarkime, kad Vega netrukus panirs į tarpžvaigždinių dulkių debesį ir dėl dulkių ekstinkcijos jos spalva taps tokia pat kaip ir Arktūro.

Koks tuo atveju būtų Vegos regimasis ryškis V ?

B ir V ryškių juostų vidutiniai bangų ilgiai lygūs: $\lambda_B = 438$ nm ir $\lambda_V = 545$ nm.

Tarpžvaigždinių dulkių ekstinkcija šiame bangų ilgių ruože proporcinga $\lambda^{-1,28}$.

Sprendimas

Abiejų žvaigždžių spalvos bus vienodos, jei jų spalvos rodikliai $(B - V)$ bus lygūs:

$$(B - V)_{Vred} = (B - V)_A = B_A - V_A = 1,18 + 0,05 = 1,23$$

Tai yra parausvėjusios Vegos spalvos ekscesas:

$$E_{B-V}^{(Vega)} = A_{B(Vega)} - A_{V(Vega)} = (B - V)_{Vred} - (B - V)_{0(Vega)} = 1,23$$

Panaudodami sąlygos duomenis nustatome A_B ir A_V sąryšį:

$$\frac{A_B}{A_V} = \left(\frac{\lambda_B}{\lambda_V}\right)^{-1,28} = \left(\frac{438}{545}\right)^{-1,28} = 1,323$$

$$R = \frac{A_V}{E_{B-V}} = \frac{A_V}{A_B - A_V} = \frac{A_V}{1,323A_V - A_V} = 3,10$$

[Pastaba: Daugiklis R turi būti apskaičiuotas naudojant sąlygos duomenis, o ne paimtas iš vadovėlio]

Apskaičiuojame parausvėjusios Vegos tarpžvaigždinę ekstinkciją:

$$A_{V(Vega)} = 3,1 \cdot E_{B-V}^{(Vega)} = 3,1 \cdot 1,23 = 3,81$$

Parausvėjusios Vegos ryškis

$$V_{Vred} = V_V + A_{V(Vega)} = 0,03 + 3,81 = 3,84$$