

Регионално такмичење из астрономије 22. април 2023.

Питања:

1. (5 п.) Јулијански, грегоријански и неојулијански календар, чија се годишњица обележава ове године, су соларни календари. На којој врсти године су засновани?
2. (5 п.) Француз Шарл Месије, "ловац на комете", је веома познат по свом каталогу. Објекти каталога носе испред свог броја ознаку М. Пронађи "уљеза": М3, М13, М15, М31, М92.
3. (5 п.) Крајем XX века уведен је нов појам – тамна енергија. Шта је био разлог?

Одговори гласе:

1. Временска јединица година везана је за период обиласка Земље око Сунца. Њена дефиниција мора бити прецизна. Зато постоје тропска, звездана (сидеричка) и аномалистичка година. Поменути календари засновани су на тропској години која траје 365 дана пет часова 48 минута и 46 секунди.

Бодовање. За тропска 5п.

2. Уљез је М31 јер је то галаксија (Андромеда у сазвежђу Андромеде), док су сви остали објекти збијена (глобуларна) звездана јата.

Бодовање. За М31 5п.

3. Разлог је био откриће да се Универзум (Васиона) шири убрзано (са позитивним убрзањем). Без нечег као што је тамна енергија ширење би због гравитационог привлачења међу галаксијама морало да буде успорено.

Бодовање. За УБРЗАНО ширење Универзума 5 п, иначе ништа.

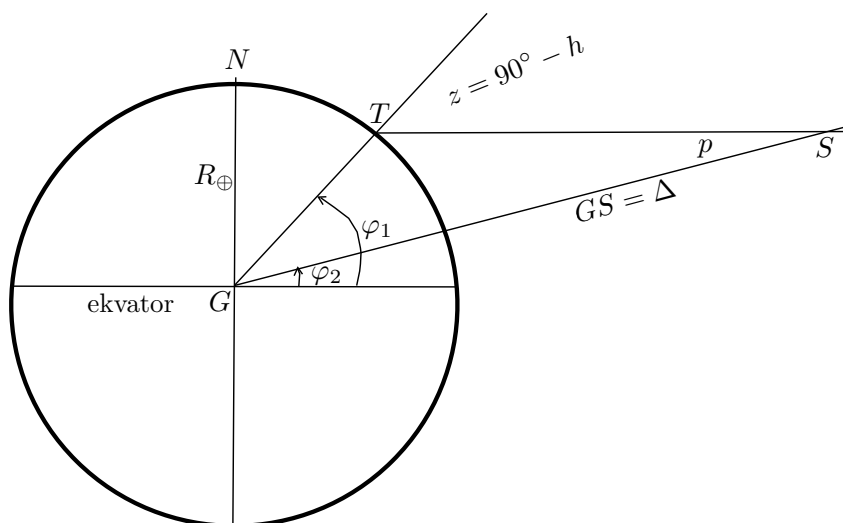
Запажање:

Задаци:

1. (25 п.) Посматрач на географској ширини $\varphi_1 = 45^\circ$ види небеско тело у горњој кулминацији на висини $h = 59^\circ 59' 58''$. На истој географској дужини, на ширини $\varphi_2 = 15^\circ$, ово небеско тело је за време горње кулминације у зениту. Колико је оно удаљено од средишта Земље? Резултат изрази у астрономским јединицама (ај). Да ли је ово у односу на Земљу спољашње (веће средње растојање од Сунца) или унутрашње небеско тело? Слика је обавезна.

Решење 1:

На слици је троугао GTS где је тачка G средиште Земље, T топоцентар посматрача на φ_1 , а у тачки S је небеско тело. Странаца троугла GS је тражено растојање и у складу са традицијом биће означено словом Δ , док је странаца GT једнака полупречнику Земље $R_\oplus$. Тачка на дужи GS на Земљиној површи је топоцентар другог посматрача јер је за њега горња кулминација



Сл. 1: Приказ ситуације уз задатак 1.

истог тела у истом тренутку (иста географска дужина) у зениту. Следи да полуправа из Земљиног средишта кроз овај топоцентар са равни Земљиног екватора заклапа угао једнак његовој географској ширини, тј. 15° . Према томе, сви углови у троуглу GTS су познати; онај код темена G једнак је разлици географских ширина, тј. 30° , код темена T $90^\circ + h = 149^\circ 59' 58''$ и, напоследку, код темена S је $2''$. Ово је угао под којим се са небеског тела види полупречник Земље и он се назива дневна паралакса, уобичајена ознака је p . На основу синусне теореме је

$$\frac{\sin p}{R_\oplus} = \frac{\cos h}{\Delta}.$$

Однос је $\frac{\Delta}{R_\oplus} = 51\,567,07$. Вредности $R_\oplus$ и астрономске јединице налазимо у табели констаната, те је онда $\Delta = 2,19$ ај. Ово је, несумњиво, спољашње небеско тело јер подаци о његовом посматрању сугеришу да је то било ноћу, па је небеско тело на другој страни неба у односу на Сунце.

Бодовање. За слику 5 п. За одређивање паралаксе 5 п. За растојање преко синусне теореме 5 п. и закључак да је то спољашње небеско тело 10 п.

2. (30 п.)

Сматра се да је Тритон, највећи сателит планете Нептун, некада био патуљаста планета, пре него што га је Нептун "заробио". Нека су у тренутку када је захват почео (завршио се када је Тритон ушао у стабилну орбиту око Нептуна) силе које дејствују на Тритон од Сунца и Нептуна биле једнаке интензивности, а Тритон се кретао најбрже могуће у односу на Сунце. Колико је под овим условима трајало његово обилажење око Сунца? Сматрај да се Нептун креће око Сунца по кружници на растојању од 30 ај, а његова маса је 17 пута већа од масе Земље.

Решење 2: Силе које дејствују на Тритон имају гравитациону природу. Стога је

$$\frac{G\mathfrak{M}_\odot}{R^2} = \frac{G\mathfrak{M}_N}{r^2}.$$

где је G константа гравитације, $\mathfrak{M}_\odot$ маса Сунца, $\mathfrak{M}_N$ маса Нептуна, а R и r растојања Тритона од Сунца и Нептуна, респективно. Следи: $r = 0,0071 R$. С обзиром на стално растојање Нептуна од Сунца, $a = 30$ ај ово значи да се

величина R креће у границама од 29,8 ај до 30,2 ај. Може се сматрати $R \approx a$. Брзина Тритона у односу на Сунце дата је изразом

$$\vec{V}_T = \vec{V}_N + \vec{v}_T,$$

где је са $\vec{V}$ означена брзина у односу на Сунце, а са $\vec{v}$ у односу на Нептун. На израчунатом растојању од Нептуна једнаком 0,213 ај брзина Тритона не сме да пређе критичну вредност дату изразом

$$v_{krit} = \sqrt{\frac{2G\mathfrak{M}_N}{r}}.$$

Вредност ове брзине од $0,65 \text{ km s}^{-1}$ може се прихватити као највећа могућа брзина Тритона у односу на Нептун. Највећа могућа брзина у односу на Сунце биће ако су вектори $\vec{V}_N$ и $\vec{v}_T$ паралелни. Прва од њих се одређује из услова кружног кретања

$$V_N = \sqrt{\frac{2G\mathfrak{M}_\odot}{a}}.$$

Добија се $V_N = 5,42 \text{ km s}^{-1}$, те је $V_T = 6,07 \text{ km s}^{-1}$. Користећи формулу за специфичну енергију

$$\frac{1}{2}V_T^2 - \frac{G\mathfrak{M}_\odot}{a} = -\frac{1}{2}\frac{G\mathfrak{M}_\odot}{a_T},$$

где је a_T дужина велике полуосе орбите Тритона око Сунца, с обзиром на његово тадашње растојање од Сунца (a), добија се $a_T = 40,22$ ај, а онда применом трећег Кеплеровог закона

$$\frac{a_T^3}{P_T^2} = 1;$$

резултат $P_T = 255$ година.

Бодоање. Растојање Тритон-Сунце 5 п. Услов за критичну брзину 5 п. Брзина Тритона у односу на Сунце 5 п. ЗОЕ 5 п. III Кеплеров закон 5 п.

3. (25 п.) Класе луминозности на Херцшпрунг-Раселовом дијаграму су низови попут главног низа који је и сам класа луминозности (V). Класу луминозности I образују суперцинови. За њих у распону ефективне температуре од 3.700 K до 12.000 K важи $L \approx \text{const}$ (L је ознака за луминозност). Нека је дат суперцин чија је ефективна температура на средини овог распона, а болометријска поправка $BC = -0,21$ ($M_{\text{bol}\odot} = 4,75$). Привидна величина суперцина је $m_v = 1,80$, одговарајућа међузвездана екстинкција $A_v = 0,56$. Тачност интерферометријског мерења једнака је $0,2 \cdot 10^{-3}''$. Да ли је вредност привидног пречника овог суперцина поуздана? Полупречник суперцина који има највећу ефективну температуру у овом распону је 45 пута већи од Сунчевог.

Решење 3: Да би вредност привидног пречника била поуздана потребно је да буде већа од тачности мерења. Ово ће се проверити ако се израчуна привидни пречник. У ту сврху треба израчунати пречник и растојање суперцина од Сунца. Зна се да је луминозност дата изразом

$$L = 4\pi\sigma R^2 T_{\text{eff}}^4, \quad (1)$$

где је σ Штефан-Болцманова константа, R полупречник звезде, а T_{eff} њена ефективна температура. С обзиром на услов $L \approx \text{const}$ из формуле (1) следи $R^2 T_{\text{eff}}^4 \approx \text{const}$ и одатле да за датог суперцина ($T_{\text{eff}} = 7850 \text{ K}$) важи $R = 105 R_\odot$. Растојање s између суперцина и Сунца ће се одредити фотометријски, из формуле

$$m_v - M_v = 5 \log s - 5 + A_v, \quad (2)$$

где је растојање изражено у пц. Пошто је болометријска поправка за суперцина дата, апсолутна величина M_v ће се одредити из одговарајуће болометријске. До болометријске величине суперцина се може доћи на два начина. Први је да се најпре израчуна ефективна температура Сунца (формула (1)), јер је нема у табели констаната, па онда из већ раније примењене пропорције да се установи колико је пута суперцин луминознији од Сунца. Други начин је да се употребом (1) израчуна луминозност, рецимо топлијег суперцина (12.000 K), иначе једнака луминозности датог суперцина, а однос према Сунцу се онда израчуна дељењем (луминозност Сунца дата у табели). Следи да је луминозност суперцина око 37.800 пута већа од Сунчеве. Апсолутна болометријска величина суперцина се налази из формуле

$$\log \frac{L}{L_{\odot}} = 0,4(M_{\text{bol}\odot} - M_{\text{bol}}).$$

Резултати су: $M_{\text{bol}} = -6,69$, $M_v = -6,48$. Даље следи (формула (2)) да је $s = 350$ рс, а пошто је полупречник суперцина 105 пута већи од Сунчевог, дељењем (не заборавити множење са 2) се добија

$$\frac{1,392 \cdot 10^9 \cdot 105}{350 \cdot 3 \cdot 10^{16}} = 1,392 \cdot 10^{-8 \text{ rad}} = 0,0029''.$$

Ова вредност превазилази $0,2 \cdot 10^{-3}''$. Стога је можемо сматрати поузданом. Бодовање. За налажење полупречника суперцина 5 п. За налажење апсолутне визуалне величине суперцина 10 п. Растојање суперцина 5п. Привидни пречник суперцина 5 п.

4. (25 п.) Код веома далеких галаксија постоји проблем код фотометријског одређивања растојања. Мерења обављена на Земљи односе се, због црвеног помака, на таласне дужине које су осетно веће од оних на извору, тј. на самој галаксији. Зато се на измерену привидну величину примењује поправка позната као K поправка. Она је функција црвеног помака. Дата је галаксија за коју се очекује апсолутна величина $M_v = -19,5$ (визуална, $\lambda_v \text{ nm}$), њена радијална брзина је $v_{\text{rad}} = 198\,230 \text{ km s}^{-1}$, а мерење привидне величине за филтер J ($\lambda_J = 1220 \text{ nm}$) даје $m_J = 25,1$. Под претпоставком да је спектар ове галаксије сличан спектру Сунца за кога важи $M_J = 6,82$ процени поправку K и на основу те процене одреди растојање до галаксије (не користи Хаблов закон). Колико времена је светлост путовала од ње до нас?

Решење: Најпре треба одредити црвени помак за галаксију. Он се одређује из радијалне брзине, али коришћењем релативистичке формуле, тј.

$$1 + z = \sqrt{\frac{c + v_{\text{rad}}}{c - v_{\text{rad}}}},$$

где је c брзина светлости. Вредност брзине светлости се налази међу константама, те је $z = 1,214$. По дефиницији је

$$z = \frac{\Delta\lambda}{\lambda}.$$

Таласна дужина λ је она за коју тражимо разлику звезданих величина, у овом случају λ_v , док је $\Delta\lambda$ разлика таласних дужина условљена црвеним помаком. Следи да је друга таласна дужина 2,214 пута већа од λ_v . Таласна дужина λ_J испуњава овај услов. Ако је спектар галаксије сличан Сунчевом, онда је $M_J - M_v = m_J - m_v = 2$ (у списку констаната налази се M_v за Сунце једнако 4,82). За тражено растојање s онда следи

$$m_v - M_v = 5(\log s - 1),$$

где је s изражено у парсецима, па је $s = 3,3$ Грс. Време пута се добија дељењем

$$\tau = \frac{s}{c}.$$

Резултат је $\tau = 1,05 \cdot 10^{10}$ година.

Бодовање. Одређивање црвеног помака 5 п. Налажење везе између филтра В и Ј тј. привидне визуалне величине која се уноси у ф-лу за одређивање растојања 10 п. Одређивање растојања 5 п. Одређивање времена путовања светлости 5.

Запажање: