

III етап Всеукраїнської учнівської олімпіади з астрономії

Київ, 31.01.2020

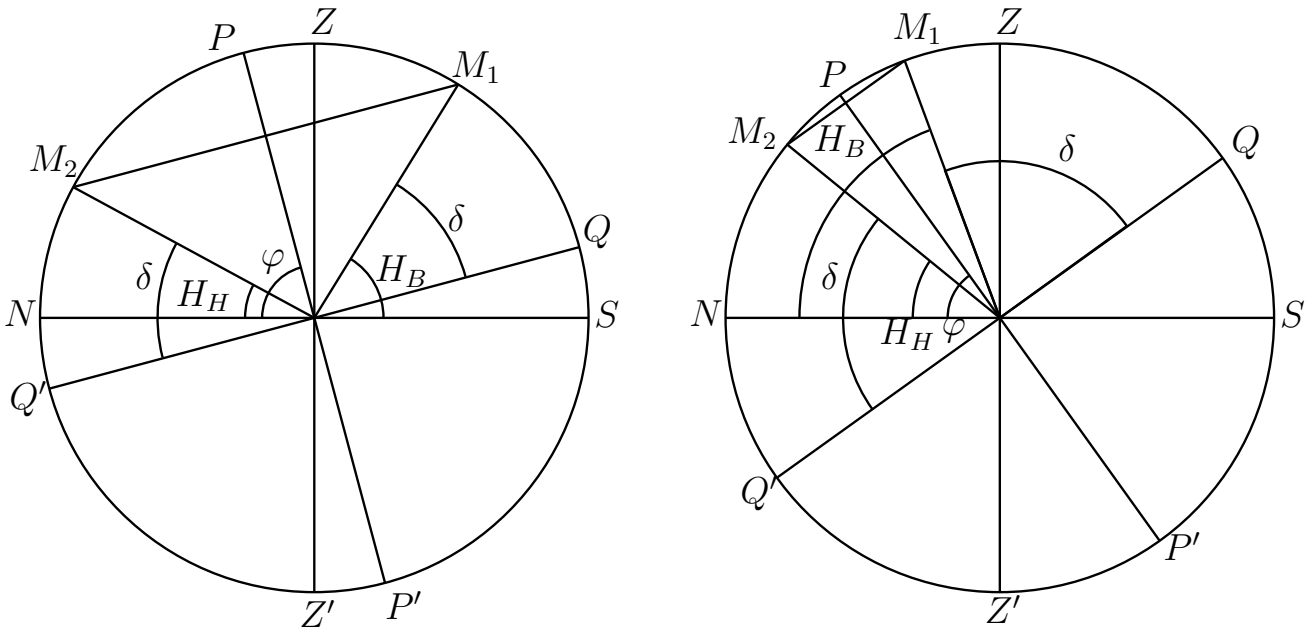
11 клас

Перед тим, як приступити до роботи уважно ознайомтеся з рекомендаціями щодо її виконання (на зворотньому боці завдання)!

1. Дві кульмінації. Впродовж ночі двічі спостерігалися кульмінації зорі: у верхній кульмінації її висота була рівна $H_B = 60^\circ$, а в нижній $H_H = 40^\circ$. Визначте широту місця спостереження та можливі пори року, коли вони відбувалися.

Розв'язок

Кульмінації могли розташовуватися або по одну сторону від зеніту, або по різні. Якщо вони відбувалися в різних півсферах, то розв'язавши систему двох рівнянь з двома невідомими $H_B = 90^\circ - \varphi + \delta$, $H_H = \delta + \varphi - 90^\circ$ отримаємо значення $\varphi = 80^\circ$, $\delta = 50^\circ$ (див. рисунок зліва).



Якщо ж обидві кульмінації проходили в одній півкулі, то маємо ситуацію, зображену на рисунку зправа, а рівняння зміняться наступним чином: $H_B = 90^\circ + \varphi - \delta$, $H_H = \delta + \varphi - 90^\circ$. Звідки маємо $\varphi = 50^\circ$, $\delta = 80^\circ$.

Також не забуваємо, що аналогічна ситуація могла відбуватися і у Південній півкулі. Остаточна відповідь для широти: $\varphi = \pm 80^\circ$, $\varphi = \pm 50^\circ$. Між двома кульмінаціями пройшло 12 годин, отже ніч мала бути довгою. Тому спостереження проходили взимку.

2. ELT. Визначте максимальну відстань, на якій ELT (Надзвичайно Великий Телескоп), будівництво якого розпочалося у 2017 році, і триватиме до 2025 року, зможе зареєструвати річний паралакс зорі, схожої на Сонце в інфрачервоному діапазоні (3 - 4 мкм). Діаметр дзеркала телескопа становитиме 39.3 м.

Розв'язок

Роздільна здатність телескопа при спостереженнях на довжині хвилі $\lambda = 3$ мкм.

$$\varphi = 1.22 \frac{\lambda}{D} = \frac{1.22 \cdot 3 \cdot 10^{-6} \text{ м}}{39.3 \text{ м}} = 9.3 \cdot 10^{-8} \text{ рад}$$

Отримане значення переводимо у секунди дуги:

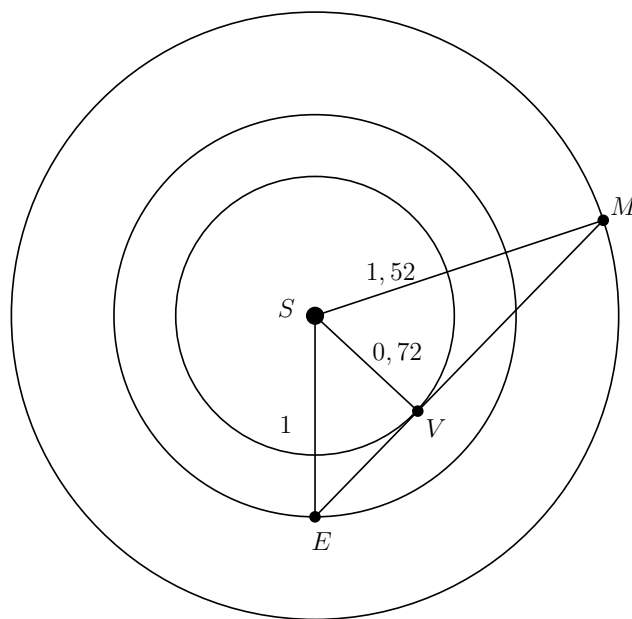
$$\varphi = 9.3 \cdot 10^{-8} \text{ рад} \cdot 206265 \text{ ''/рад} = 0.019''$$

Відстань до зорі (у пк) становитиме

$$r = 1/\varphi \approx 50 \text{ пк}$$

3. Земля, Венера, Марс. В один момент часу Венера опинилася в найбільшій західній елонгації для земного спостерігача, і в найбільшій східній елонгації для спостерігача, що знаходився на Марсі. Визначте відстань (в а.о.) між Землею та Марсом в цей момент. Опишіть, як така конфігурація виглядатиме для земного та марсіанського спостерігача. Орбіти планет вважайте коловими, та такими, що лежать в одній площині.

Розв'язок



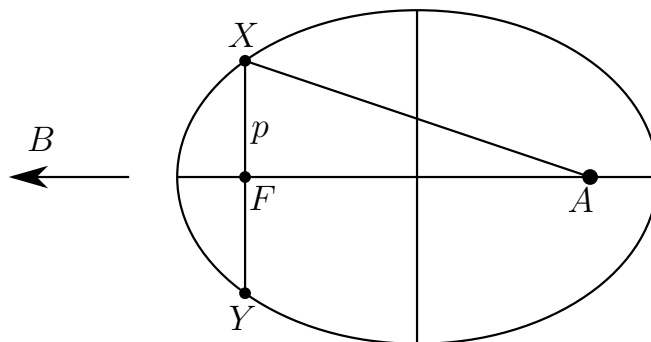
Розташування планет представлено на малюнку (відстані вказані в астрономічних одиницях). За теоремою Піфагора знаходимо відстань EM .

$$EM = \sqrt{1^2 - 0,72^2} + \sqrt{1,52^2 - 0,72^2} = 2,03 \text{ а.о.}$$

Для марсіанського спостерігача бачитимемо покриття Землі Венерою, а для Земного — Марса Венерою. Проте таке твердження справедливе тільки в ідеалізованому випадку, коли всі три орбіти лежать в одній площині.

4. Незвичайний паралакс. Планета P обертається навколо зорі A з масою $M = 0.54M_{\odot}$ з періодом, що дорівнює 6 земним рокам. Астрономи на цій планеті хочуть виміряти відстань до зорі B , напрямком на яку збігається з великою віссю орбіти планети P , зі сторони апоцентру. Для цього вони вирішили використати метод паралаксу, зафіксувавши положення зорі B по відношенню до далеких зір у двох різних точках орбіти. Ці дві точки, X та Y , розташовані таким чином, що відрізок XY є перпендикулярним до великої осі орбіти, і перетинає її у фокусі. Астрономи виміряли кут, на який зміщується положення зорі B , якщо спостерігати з цих точок, і отримали значення $\theta = 0,05''$. Якщо планета P знаходиться на відстані $0,537$ а.о. від зорі A у момент проходження перицентру, яка відстань до зорі B в парсеках?

Розв'язок



Запишемо теорему Піфагора для $\triangle FXA$ та використаємо основну властивість еліпса.

$$(2a - p)^2 = (2c)^2 + p^2$$

$$4ap = 4a^2 - 4c^2$$

$$p = a(1 - e^2)$$

При виведенні формули було використано, що $AF = 2c$, $e = \frac{c}{a}$, $FX + XA = 2a$. За третім законом Кеплера знаходимо величину великої півосі орбіти $a = 2.69$ а.о. У момент проходження перицентру відстань між планетою та зорею рівна $q = a(1 - e)$, звідки визначаємо, що ексцентриситет орбіти складає $e = 0.8$

$$p = a(1 - e^2) = q(1 + e) = 0,537 \cdot 1.8 \text{ а.о.} = 0,966$$

Відстань до зорі:

$$D = \frac{2p}{\theta} = \frac{2 \cdot 0,966 \text{ а.о.} \cdot 206265 \text{ ''/рад}}{0,05'' \cdot 206265 \text{ а.о./пк}} = 38,64 \text{ пк}$$

5. Реліктове випромінювання. Відомо, що температура реліктового випромінювання в напрямку з галактичними координатами $l = 264^\circ$ та $b = 48^\circ$ більша за середнє значення на $\Delta T = 3.35$ мК, причому це відхилення найбільше по усьому небу. Визначте швидкість руху Галактики як цілого відносно фону реліктового випромінювання. Сонце рухається навколо центру Галактики зі швидкістю 220 км/с, проти годинникової стрілки, якщо дивитись з Північного полюса Галактики.

Примітка: Галактична система координат — система небесних координат із центром у Сонці, основною площиною в якій є площина галактичного диску. Подібно до інших сферичних систем має дві координати: **галактичну широту** b — кут між напрямком на об'єкт та галактичною площиною (від -90° для Південного галактичного полюса до $+90^\circ$ — для Північного); **галактичну довготу** l — кут між напрямками на об'єкт та центр Галактики (у площині галактичного диску). Змінюється від 0° до 360° у градусній мірі (або від 0 до 24 у годинній мірі).

Розв'язок

Зміна температури реліктового фону відбувається внаслідок ефекту Доплера, за рахунок двох рухів — галактики, як цілого, та Сонця всередині галактики. Знайдемо модуль повного вектора швидкості руху Сонця.

$$v = c \frac{\Delta\lambda}{\lambda}$$

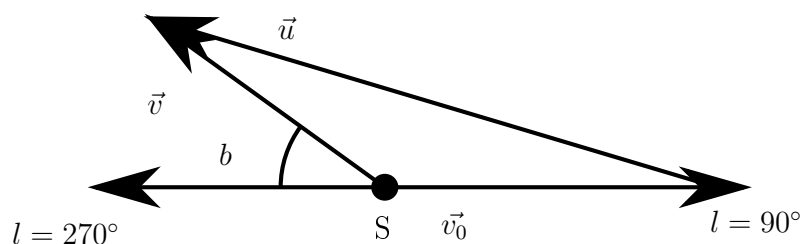
Із закону зміщення Віна:

$$\lambda = \frac{2,9 \cdot 10^{-3} \text{ м/К}}{T}$$

Звідси:

$$v = c \frac{\Delta T}{T}$$

Підставивши числові значення отримаємо, що Сонце рухається відносно реліктового фону зі швидкістю 368 км/с, у напрямку з галактичними координатами $l = 264^\circ$ та $b = 48^\circ$. При цьому відносно центру галактики Сонце рухається зі швидкістю $\vec{v}_0 = 220$ км/с у напрямку $l_0 = 90^\circ$ та $b_0 = 0^\circ$. Наближено можемо вважати, що $l \approx 270^\circ$. Тоді всі вектори швидкостей лежать в одній площині, яка перпендикулярна до площини галактичного диску. Зобразимо ці вектори на рисунку:



\vec{v}_0 — вектор швидкості руху Сонця відносно центра галактики, \vec{v} — повний вектор швидкості руху Сонця відносно реліктового фону, \vec{u} — шуканий вектор швидкості руху галактики. За теоремою косинусів знаходимо величину вектора \vec{u} .

$$u = \sqrt{v^2 + v_0^2 - 2vv_0 \cos(180^\circ - b)} = 540 \text{ км/с}$$