

Практичний тур

Смути на зображеннях Юпітера розташовані таким чином, що показують розташування площини його екватора вздовж променя зору. Це дозволяє визначити широту ЧП.

Для зображення 2 $a=b$, тому меридіан ВЧП у проекції є прямою.

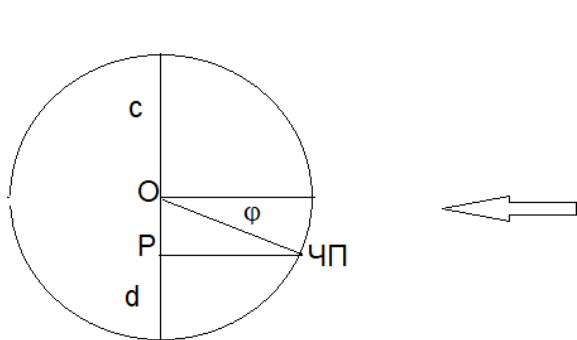


Рис. 1. Визначення широти ЧП. Стрілкою показано промінь зору

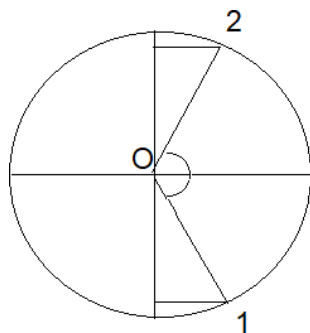


Рис. 2. Визначення кута зміщення ВЧП. Перетин Юпітеру на широті ВЧП

а) Визначення широти ВЧП. Радіус зображення Юпітера: $R = \frac{1}{2}(c+d) = 14,5$ мм.

З трикутника ОРЧП визначаємо кут ЧП, який дорівнює широті ЧП
Тобто:

$$\varphi = \arcsin((R-d)/R) = 22.3^\circ \approx 22^\circ$$

б) Визначення періоду обертання ВЧП.

Ми бачимо положення ВЧП на видимому диску у проекції кулі на картинну площину. Для визначення кута, на який ВЧП змістилася за час спостережень потрібно розглянути перетин Юпітеру на широті ВЧП.

Радіус перетину відповідає широті ВЧП та дорівнює:

$$R_p = \frac{1}{2}(a_1 + b_1) = \frac{1}{2}(a_3 + b_3) = 14 \text{ мм.}$$

Для 1 кадру кутова відстань ВЧП від центру зображення:

$$\theta_1 = \arcsin((R_p - a_1)/R_p) = 21^\circ$$

$$\theta_3 = \arcsin((R_p - b_3)/R_p) = 40^\circ$$

За 112.5 хвилин ВЧП змістилася на 61° . Повний оберт вона робить за: 11 годин. Відомо, що ВЧП Юпітера рухається повільніше, ніж оточуючий шар газу, тому період її обертання не вкладається в стандартний закон диференційного обертання планети.

Теоретичний тур

1. Згідно з третім законом Кеплера

$$a = T^{2/3} \approx 1.52 \text{ а.о.}$$

Оскільки максимальна відстань Марса від Сонця складає a , то максимальна відстань до зір буде складати:

$$r[\text{пк}] = \frac{a[\text{а.о.}]}{\pi''} \approx 15 \text{пк}$$

2. При падінні метеорита на поверхню Місяця швидкість тіла майже миттєво спадає від якогось значення v_0 до нуля, отже майже миттєво зменшується й кінетична енергія тіла. Ця енергія йде на нагрівання та руйнування поверхні Місяця, нагрівання та руйнування самого тіла, переходить в кінетичну енергію уламків, що розлітаються.

Якщо швидкість падіння невелика, то утворюється невеликий кратер (із розміром, близьким до розміру метеорита). Такі кратери називаються ударними. Форма кратера залежить від кута падіння. При вертикальному падінні форма кратера нагадує форму тіла. При великих кутах падіння на поверхні може утворитися канавка. Кінетична енергія метеорита достатня лише для цього. Описане явище можна відтворити, кидаючи камінець на пісок під різними кутами.

Однак, швидкості падіння метеоритів на поверхню Місяця дуже великі. Середня швидкість становить біля 20 км/с. Процеси руйнування й нагрівання в околі розміру тіла недостатні для вичерпування кінетичної енергії. У такому разі, відбувається вибух. Вибухова хвиля руйнує тіло й поверхню Місяця, утворюючи вибуховий кратер. Розміри вибухових кратерів на Місяці в 10-20 разів перевищують розміри метеоритів, що їх утворюють. Вибух відбувається в момент зупинки метеорита на невеликій глибині під поверхнею Місяця. Оскільки ударна хвиля йде рівномірно у всі сторони, то утворюється кратер, форма якого близька до кола.

Звичайно, ударна хвиля йде і в глибину. Але, у тому напрямку опір речовини набагато більший, ніж в поверхневих шарах. Тому, ширина кратера в кілька разів перевищує його глибину.

Крім того, варто пам'ятати і про інший можливий сценарій. При падінні метеорита на Місяць внаслідок великої швидкості кінетична енергія метеорита достатня для розігріву і розплаву в 10^3 - 10^4 більшої маси (тому і розмір кратера в десятки разів більші розміру метеорита). Метеорит різко гальмується при зіткненні з поверхнею, передаючи поверхні контакту свою енергію та імпульс. Всередину Місяця рухається сильна ударна хвиля, за фронтом якої місячний матеріал розігрівається до розплаву (та, частково, випаровування). Розплавлена порода має властивості рідини – зокрема, працює закон Паскаля про ізотропність тиску – це основний аргумент, чому розплав займає приблизно сферичний об'єм, суттєвого викиду розплаву від поверхні місяця немає, бо розплав за фронтом УХ має суттєву приблизно радіальну швидкість в тілі Місяця. По мірі затухання УХ

всередині Місяця плавлення припиняється. але ще деякий час УХ руйнує структуру місячної кори.

Одночасно, на пізніх стадіях розплав схлюпується до центру та утворює центральний горбик – як на воді викидаються капельки після падіння каменя.

3. Перша і друга зорі пройшли меридіан одночасно (оскільки час затримки між сходом та заходом однаковий – по 3 години), значить, ці зорі мають приблизно однакові прямі піднесення.

Оскільки зоря 1 зайшла в точці заходу, то вона на небесному екваторі, і має схилення 0. Тобто вона була над горизонтом 12 годин (якщо не враховувати рефракцію). Значить, зоря 2 була над горизонтом 6 годин, згідно умов задачі: три години від сходу до верхньої кульмінації та три години після верхньої кульмінації до моменту заходу.

Варіант 1

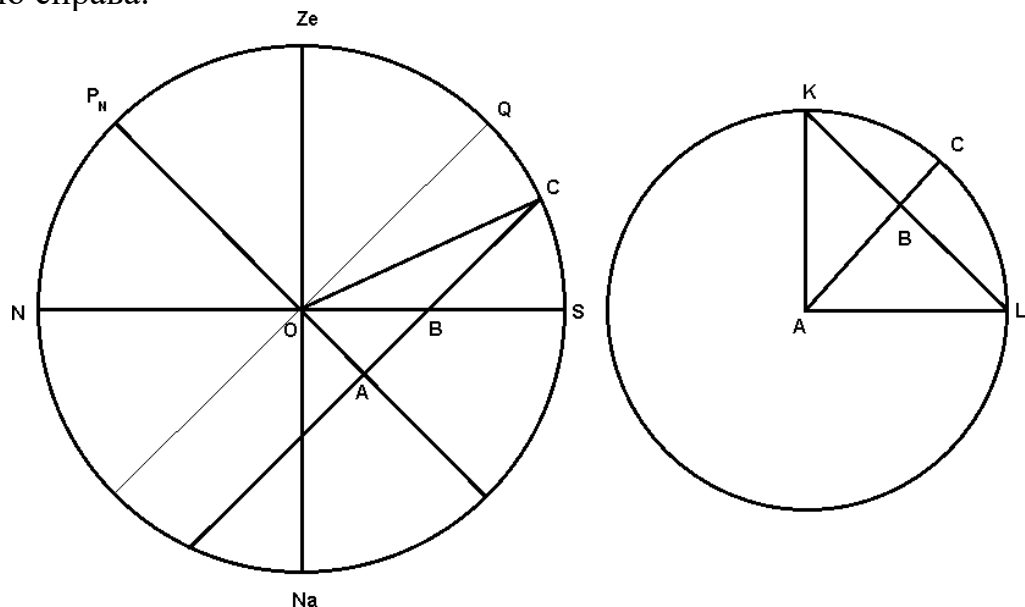
Згідно з формулою зв'язку годинного кута, схилення та широти на момент заходу: $\cos t = \operatorname{tg} \delta \operatorname{tg} \varphi$. У нас годинний кут на момент заходу $t = 3 \text{ год} = 45^\circ$.

$$\delta = \arctg \frac{\cos t}{\operatorname{tg} \varphi} = \arctg \frac{\cos 45^\circ}{\operatorname{tg} 45^\circ} = \arctg \frac{1}{\sqrt{2}} \approx 35^\circ$$

Оскільки зоря 2 знаходиться нижче екватора, схилення від'ємне: $\delta = -35^\circ$.

Варіант 2

Розглянемо мале коло, по якому «рухається» зоря 2. Проекція цього кола на площину небесного меридіану наведена на рисунку зліва (пряма АС). А саме мале коло справа.



Частина малого кола (по якому внаслідок обертання Землі рухається світило), яка видима над горизонтом – KCL, довжина цієї дуги складає 90° (оскільки зоря 2 над горизонтом 6 годин). Тому кут KAL прямий. Звідси,

можна легко отримати співвідношення між відрізками $AB:AC=1:\sqrt{2}$

З лівого рисунка кут схилення $QOC=OCA$, і можна знайти схилення:

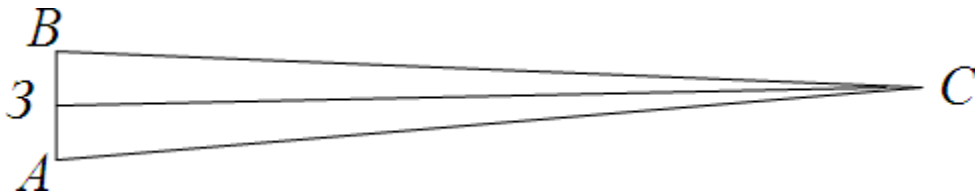
$$tg \delta = \frac{OA}{AC}$$

З іншої сторони кут AOB – це широта місцевості, тому з прямокутного трикутника враховуючи OAB , враховуючи, що $\varphi=45^\circ$: $OA=AB$, тому широта:

$$tg \delta = \frac{AB}{AC} = \frac{1}{\sqrt{2}}$$

$$\text{Звідки } \delta = -\arctg \frac{1}{\sqrt{2}} \approx -35^\circ$$

4. Кути зміщення Сонця по небу відносно зір такі ж, як і кути зміщення Землі по орбіті. За другим законом Кеплера, площі, описані радіус-вектором Землі за однаковий час (за добу) в перигелії і в афелії однакові. Оскільки ці кути малі, площі можна наближено представити у вигляді рівнобедрених трикутників.



На рисунку C – Сонце, Z – Земля, тоді CZ – перигелійна або афелійна відстань. Кут при вершині C ($\angle ACB=\alpha$) – кут зміщення Землі по орбіті. З рівнобедреного $\triangle ACB$ знаходимо:

$$AB = 2AZ = 2 \cdot CZ \cdot tg \frac{\alpha}{2}$$

Площа трикутника ABC

$$S = \frac{1}{2} AB \cdot CZ = CZ^2 \cdot tg \frac{\alpha}{2}$$

Тоді для перигелію маємо:

$$S_p = q^2 \cdot tg \frac{\alpha_1}{2},$$

для афелію

$$S_a = Q^2 \cdot tg \frac{\alpha_2}{2}$$

Прирівнюючи ці площі, знаходимо:

$$q^2 \cdot tg \frac{\alpha_1}{2} = Q^2 \cdot tg \frac{\alpha_2}{2}$$

Виразимо перигелійну і афелійну відстані через велику піввісь орбіти і ексцентриситет:

$$q = a(1 - e),$$

$$Q = a(1 + e).$$

Тоді, враховуючи, що для малих кутів тангенс приблизно рівний куту (у радіанах), одержимо:

$$a^2(1 - e)^2 \cdot \frac{\alpha_1}{2} = a^2(1 + e)^2 \cdot \frac{\alpha_2}{2},$$

$$\frac{(1-e)^2}{(1+e)^2} = \frac{\alpha_2}{\alpha_1},$$

$$\frac{1-e}{1+e} = \sqrt{\frac{\alpha_2}{\alpha_1}}.$$

Відношення кутів однакове що в радіанах, що в градусній мірі, тоді

$$\frac{1-e}{1+e} = \sqrt{\frac{57''}{61'}} \approx 0,967,$$

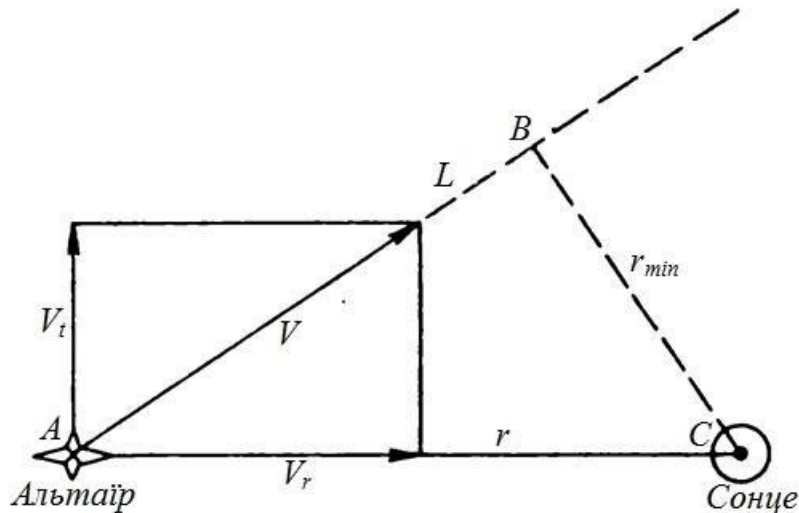
$$1 - e = 0,967(1 + e) = 0,967 + 0,967e,$$

$$1 - 0,967 = e + 0,967e,$$

$$0,033 = 1,967e,$$

$$e = \frac{0,033}{1,967} \approx 0,017$$

5.



5.

Швидкість зорі можна розкласти на дві складові: вздовж променя зору V_r (променева швидкість) і перпендикулярну йому V_t . Перша з них задана в умові: $V_r = -26$ км/с (знак "–" вказує, що вона направлена до нас). Друга складова може бути визначена за власним рухом зорі.

За річним паралаксом (вираженим у кутових секундах) можна визначити відстань до зорі:

$$r = \frac{1}{\pi''} = \frac{1}{0,198} \approx 5,05 \text{ пс}.$$

Переміщення зорі за рік у просторі

$$S = \mu r,$$

де кут μ у радіанах. Оскільки в умові кут заданий в кутових секундах, одержимо:

$$S = \frac{\mu''}{206265} \cdot r.$$

Складову швидкості поперек променя зору визначимо, урахувавши, що це переміщення зоря здійснює за час $t_0=1$ рік:

$$V_t = \frac{S}{t_0} = \frac{\mu'' r}{206265 t_0}.$$

Враховуючи, що $1 \text{ пс} = 206265 \text{ а.о.}$, одержимо:

$$V_t = \frac{0,658 \cdot 5,05 \cdot 206265 \cdot 1,496 \cdot 10^8 \text{ км}}{206265 \cdot 3,156 \cdot 10^7 \text{ с}} = \frac{0,658 \cdot 5,05 \cdot 1,496 \cdot 10^8 \text{ км}}{3,156 \cdot 10^7 \text{ с}} \approx 15,8 \text{ км / с}$$

(можна відразу скористатися формулою: $V_t = 4,74 \frac{\mu}{\pi}, \text{ км / с}$).

Повна швидкість зорі направлена під кутом до променя зору і може бути знайдена за теоремою Піфагора:

$$V = \sqrt{V_r^2 + V_t^2} = \sqrt{(-26)^2 + 15,8^2} \approx 30,4 \text{ км / с}.$$

Мінімальна віддаль, на яку наблизиться зоря, дорівнює довжині відрізка ВС. Оскільки трикутник, побудований на векторах швидкостей, подібний трикутнику АВС (вони обидва прямокутні з однаковим гострим кутом), з подібності трикутників одержимо:

$$r_{\min} = BC = \frac{V_t}{V} \cdot AC = \frac{V_t}{V} \cdot r = \frac{15,8 \text{ км / с}}{30,4 \text{ км / с}} \cdot 5,05 \text{ пс} \approx 2,6 \text{ пс}$$

Аналогічно знаходимо шлях, який проходить зоря до максимального зближення $AB=L$:

$$L = AB = \frac{V_r}{V} \cdot AC = \frac{V_r}{V} \cdot r = \frac{26 \text{ км / с}}{30,4 \text{ км / с}} \cdot 5,05 \text{ пс} \approx 4,3 \text{ пс}.$$

Час руху до зближення

$$t = \frac{L}{V} = \frac{4,3 \cdot 3,086 \cdot 10^{13} \text{ км}}{30,4 \text{ км / с}} \approx 4,37 \cdot 10^{12} \text{ с} \approx 1,4 \cdot 10^5 \text{ років} = 140 \text{ тис. років}$$

Запишемо вираз для зоряної величини у ці моменти часу:

$$m = M - 5 + 5 \lg r,$$

$$m_{\max} = M - 5 + 5 \lg r_{\min},$$

де M – абсолютна зоряна величина зорі.

Віднімаючи ці рівності, одержимо:

$$m_{\max} - m_{\min} = 5 \lg r_{\min} - 5 \lg r = 5 \lg \frac{r_{\min}}{r},$$

$$m_{\max} = m + 5 \lg \frac{r_{\min}}{r} = 0^m,89 + 5 \lg \frac{2,6}{5,05} \approx -0^m,55.$$

6. Використовуючи формули для світності $L = 10^{0,4(M_{\odot} - M)}$ та абсолютної зоряної величини $M = m + 5 - 5 \lg r$, визначимо видиму зоряну величину Галактики $m = M_{\odot} - 5 - 2,5 \lg L + 5 \lg r$, де світність має бути задана в світностях Сонця (4×10^{11}), віддаль в парсеках, світність Сонця $M_{\odot} = 4,8^m$. Обчисленням одержимо $m = 2,6^m$.

Кутовий розмір Галактики при спостереженні з Туманності Андромеди знайдемо з формули $\rho = \frac{d}{r} \cdot 206265'' = \frac{\frac{100000}{3,26}}{772000} \cdot 206265'' = 8196'' \approx 2,3^{\circ}$.

Таким чином, блиск Галактики при спостереженні з Туманності Андромеди значно перевищує проникну здатність, а кутовий розмір – роздільну здатність ока. Доступна для неозброєного ока, однак через низьку поверхневу яскравість краще було б скористатись біноклем.

Наша Галактика виглядала б з Туманності Андромеди як протяжний, хоч і слабкий (туманний) об'єкт, доступний для спостереження неозброєним оком.

Тип візуальних спостережень

1. Унікальне зображення галактики Андромеда;
2. Сузір'я: Андромеда. Відстань до Землі: 320 мільйонів світлових років.
3. Установлено, що чорна діра, розташована на відстані 230 мільйонів світлових років від Землі, в центрі галактики J0437+2456 і приблизно в три мільйони разів більша за наше Сонце, рухається зі швидкістю 110 тисяч миль на годину.
4. Планетарна туманність «Метелика» у сузір'ї Скорпіона. 4000 світлових років розділяють нашу планету і туманність.
5. Хмари зоряного пилу. Проходять майже на 2 градуси по молекулярній хмарі Персея на відстані 850 світлових років.
6. Зображення чорної діри.
7. Зображення зіткнення двох галактик, NGC 6872 та IC 4970.
8. Андромеда;
9. Планетарна туманність Медуза HST.
10. Зоряний пил у Молекулярній хмарі Персея.