

II ЕТАП ВСЕУКРАЇНСЬКОЇ УЧНІВСЬКОЇ ОЛІМПІАДИ З АСТРОНОМІЇ У 2025/2026 НАВЧАЛЬНОМУ РОЦІ

10 клас

I частина (2 години) Теоретичний тур

1. (10 балів) На яких широтах впродовж року (не обов'язково одночасно) можна побачити і Фомальгаут (пряме піднесення: $22^{\text{h}}57^{\text{m}}$, схилення: $-29^{\circ}37'$), і Арктур (пряме піднесення: $14^{\text{h}}15^{\text{m}}$, схилення: $+19^{\circ}10'$)? Впливом атмосфери знехтувати.

Розв'язок

Зенітний кут світила зі схиленням δ у верхній кульмінації $z = |\varphi - \delta|$ для спостерігача на широті φ .

Умова спостереження, щоб світило було над горизонтом хоча б поблизу верхньої кульмінації, математично це записується $|\varphi - \delta| < 90^{\circ}$.

(2 бали)

Отже зорю зі схиленням δ можна спостерігати на широтах:

$$\delta - 90^{\circ} < \varphi < 90^{\circ} + \delta.$$

(1 бал)

Для Фомальгаута $\delta = -29^{\circ}37'$ його можна буде бачити на широтах (з урахуванням, що широти лежать в діапазоні $[-90^{\circ}, 90^{\circ}]$):

$$-90^{\circ} \leq \varphi_{\text{Ф}} < 60^{\circ}23'.$$

(2 бали)

Для Арктура: $\delta = +19^{\circ}10'$ його можна буде бачити на широтах:

$$-70^{\circ}50' < \varphi_{\text{А}} \leq 90^{\circ}.$$

(2 бали)

Перекриття цих двох діапазонів широт дає область на поверхні планети, де можна спостерігати обидві зорі:

$$-70^{\circ}50' < \varphi < 60^{\circ}23'.$$

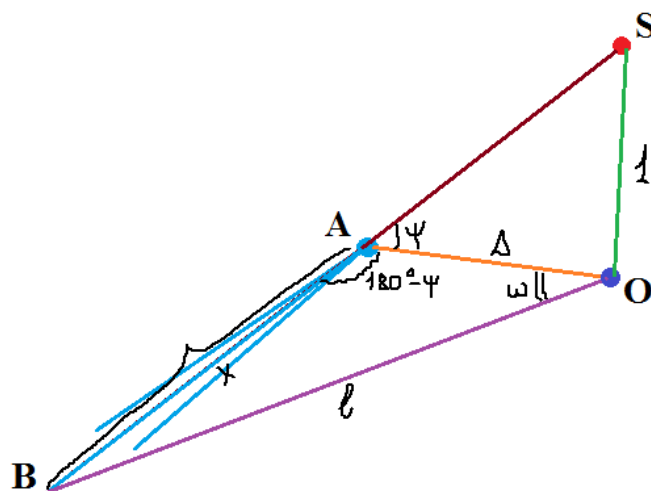
(3 бали)

Якщо вказано знак «менше рівно», то приймається повний бал.

2. (10 балів) Довгоперіодична комета Хіакутаке C/1996 B2 (Hyakutake) в квітні 1996 року мала видиму кутову довжину хвоста 85° . Горизонтальний екваторіальний паралакс комети в цей час дорівнював $19.5''$, а величина фазового кута (кут «Сонце – небесне тіло – спостерігач») ядра комети – 95° . Обчисліть за цими даними довжину хвоста комети Хіакутаке в а.о., вважаючи, що вісь хвоста комети була спрямована строго від Сонця. Товщиною хвоста нехтуйте. Екваторіальний радіус Землі – 6378 км.

Розв'язок

На рис.: S – Сонце, O – Земля, SO – відстань від Сонця до Землі, A – ядро комети, B – кінцівка хвоста комети, l – відстань від Землі до кінцівки хвоста комети в момент спостережень, x – довжина хвоста комети в момент спостережень, Δ – відстань від Землі до ядра комети в момент спостережень.



Всі відстані будемо виражати в астрономічних одиницях. Введемо кути так, як вони зображені на рис.

Спосіб 1

З трикутника ABO за теоремою синусів

$$\frac{l}{\sin(180 - \psi)} = \frac{x}{\sin \omega},$$

звідси

$$l = \frac{\sin \psi}{\sin \omega} x \quad (1)$$

З трикутника ABO за теоремою косинусів

$$x^2 + \Delta^2 - 2x\Delta \cos(180^\circ - \psi) = l^2 \quad (2)$$

З (1) та (2)

$$x^2(1 - (\frac{\sin\psi}{\sin\omega})^2) + 2x\Delta \cos\psi + \Delta^2 = 0. \quad (3)$$

При $\omega = 95^\circ$, $\psi = 85^\circ$, $\sin\psi = \sin\omega$, тому вираз (3) суттєво спрощується:

$$2x\Delta \cos\psi = -\Delta (\Delta \neq 0),$$

звідси

$$x = \frac{\Delta}{2\sin 5^\circ}. \quad (4)$$

Для знаходження відстані від Землі до комети в момент спостережень скористаємось відомим значенням горизонтального екваторіального паралаксу комети

$$\Delta = \frac{6378}{19.5} \times \frac{206265}{1496000} \approx 0.451 \text{ (а. о.)}. \quad (5)$$

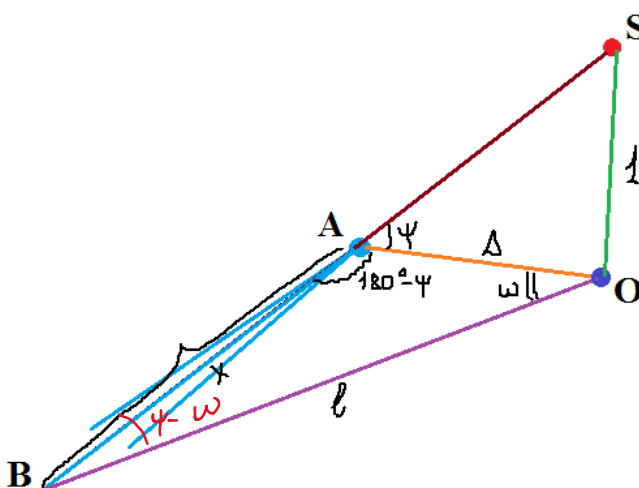
Підставимо (5) в (4)

$$x \approx 2.587 \text{ а. о.} \approx 2.6 \text{ а. о.}$$

Відповідь: ≈ 2.6 а. о.

Подано правильний рисунок, що ілюструє потрібну конфігурацію - 2 бали. Знайдена відстань (або включена у робочу формулу) до комети по паралаксу - 2 бали; записана теорема косинусів у відповідності до введених/знайдених кутів - 3 бали; отримана робоча формула та отримана числова відповідь протяжності хвоста комети - 3 бали.

Спосіб 2



Правильний рисунок, що ілюструє задану конфігурацію - 2 бали

$$\Delta = \frac{R_E}{p} \quad 2 \text{ бали}$$

З теореми синусів:

$$\frac{\sin(\psi - \omega)}{\Delta} = \frac{\sin(\omega)}{x} \Rightarrow x = \frac{\Delta \sin(\omega)}{\sin(\psi - \omega)}$$

Записано правильно теорему синусів – 2 бали

Розраховано кут В у трикутнику – 1 бал

$$x = \frac{R_E}{p} \frac{\sin(\omega)}{\sin(\psi - \omega)}$$

$$x = \frac{6378 \text{ км}}{\frac{19.5}{206265}} \cdot \frac{\sin(85^\circ)}{\sin(95^\circ - 85^\circ)} \approx 2.6 \text{ а. о.}$$

Отримано правильний результат та фінальну формулу– 3 бали.

3. (10 балів) Пошук та обчислення параметрів екзопланет уже не є надзвичайним завданням, транзити є добре помітними, а кількість відкритих екзопланет уже досить давно перевищила тисячу. Тому зараз намагаються знайти сліди транзитів екзокомет чи екзомісяців.

Екзомісяці – супутники екзопланет. Для оцінки параметрів транзити, який може спостерігатися у позасонячній системі, візьмемо модель Сонячної системи, де планетою та супутником є Юпітер та Ганімед, відповідно.

Всі орбіти у даній задачі вважайте коловими. $R_{\odot} = 696000$ км, $R_J = 71490$ км, $R_G = 2634$ км, $M_J = 1.90 \cdot 10^{27}$ кг, $M_G = 1.48 \cdot 10^{23}$ кг. Велика піввісь орбіти Ганімеда $a_G = 1.07 \cdot 10^6$ км. Синодичний період обертання Юпітера $S = 398.88$ доби.

Одним з варіантів детектування транзити екзомісяця є фотометричний метод, тобто фіксація падіння блиску від проходження екзомісяця. Цей метод є найбільш поширеним методом відкриття екзопланет, тому у цій задачі досліджуватиметься його ефективність у детектуванні екзомісяця.

А) Розрахуйте падіння блиску (у зоряних величинах) при проходженні Юпітера.

Б) Розрахуйте падіння блиску при проходженні Ганімеда.

В) Чи може телескоп, подібний до Kepler (який здатний зафіксувати відносну зміну потоку $\approx 20 \text{ ppm} = 20 \cdot 10^{-6}$), помітити різницю між проходженням лише Юпітера і Юпітера з Ганімедом?

Розв'язок

А) Падіння блиску внаслідок проходження Юпітера можна знайти як відношення площ, так як $E \propto T^4 S$. Температурою Юпітера нехтуємо порівняно з температурою Сонця, тому освітленість пропорційна незатуманій площі Сонця. Таким чином:

$$\frac{\Delta E}{E} = \frac{\pi R_J^2}{\pi R_{\odot}^2} = \left(\frac{R_J}{R_{\odot}} \right)^2 \approx 0.01055$$

3 бали за використаний закон Стефана-Больцмана для розрахунку зміни освітленості при проходженні Юпітера з урахуванням малої порівняно з Сонцем температури Юпітера. (Якщо використовують лише відношення площ, не вказавши причину нехтування температурою Юпітера – 2 бали).

Тобто потік падає на $\approx 1\%$

$$\frac{E - \Delta E}{E} = 10^{-0.4\Delta m} \Rightarrow \Delta m = -2.5 \lg\left(1 - \frac{\Delta E}{E}\right) \approx \frac{2.5}{\ln 10} \frac{\Delta E}{E} = 0.0115^m$$

3 бали за використану формулу Погсона для розрахунку падіння блиску. Повний бал дається і за розрахунок з формули $-2.5 \lg\left(1 - \frac{\Delta E}{E}\right)$.

1 бал за коректне значення Δm .

Б) Аналогічно з Ганімедом:

$$\Delta m_G = -2.5 \lg\left(1 - \frac{\Delta E_G}{E}\right) \approx \frac{2.5}{\ln 10} \frac{\Delta E_G}{E} = \frac{2.5}{\ln 10} \left(\frac{R_G}{R_\odot}\right)^2 \approx 1.55 \cdot 10^{-5}^m$$

При проходженні Ганімеда зменшення потоку розраховуємо таким чином:

$$\frac{\Delta E_G}{E - \Delta E} \approx \frac{\Delta E_G}{E} = \frac{\pi R_G^2}{\pi R_\odot^2} = \left(\frac{R_G}{R_\odot}\right)^2 = 1.43 \cdot 10^{-5} \approx 14 \text{ ppm}$$

Аналогічно використані формули – 1 бал. Коректний розрахунок – 1 бал (зокрема, якщо вказано лише у частках освітленості, а не у зоряних величинах).

Тут враховано, що падіння блиску від проходження Юпітера мале, тому різниця еквівалентна глибині транзиту самого Ганімеда.

В) Вона менша, ніж ту, яку може зафіксувати телескоп типу «Кеплер». 1 бал – коректний висновок.

4. (10 балів) Нейтринний детектор Супер-Каміоканде використовує як робочу частину циліндр висотою 36.2 м та діаметром 33.8 м, заповнений водою. Серія спостережень SK-IV тривала протягом 6 жовтня 2008 року – 31 грудня 2012 року, причому період, безпосередньо охоплений вимірюваннями, склав 1306.3 доби. За цей час було виявлено 25253 події, витлумачені як взаємодія сонячних нейтрино з водою в детекторі. Припустимо, що кількість аналогічних подій на одиницю маси за одиницю часу для речовини Землі є такою ж, як у детекторі. Оцініть, на скільки кілограмів зросла маса нашої планети за час її існування внаслідок поглинання сонячних нейтрино (вважаємо, що вся енергія нейтрино перейшла у масу Землі). Середню енергію нейтрино для оцінки припускаємо рівною 0.53 MeV*; вік Землі становить близько 4.5 млрд років, маса $5.97 \cdot 10^{24}$ кг.

**Примітка: 1 eV = $1.6 \cdot 10^{-19}$ Дж – енергія, яку набуває електрон при проходженні різниці потенціалів 1 В.*

Розв'язок

Об'єм заповненого водою циліндра становить

$$V = \frac{\pi d^2}{4} h.$$

При обчисленні:

$$V = \frac{3.14 \cdot 33.8^2}{4} \cdot 36.2 = 3.25 \cdot 10^4 \text{ м}^3. \text{ (2 бали)}$$

Маса води в циліндрі буде складати

$$m = 3.25 \cdot 10^7 \text{ кг}. \text{ (1 бал)}$$

З огляду на припущення в умові, кількість подій за час існування Землі може бути оцінена як

$$N = N_1 \cdot \frac{M}{m} \cdot \frac{t}{\tau}, \text{ (2 бали)}$$

де N_1 , τ – кількість подій і час спостережень при використанні детектора. (Природно припускати, що середня світність Сонця й потік нейтрино суттєво не змінювалися)

Зміна маси визначається через енергію окремого поглинутого нейтрино:

$$\Delta M = \frac{NE_1}{c^2}. \text{ (2 бали)}$$

Підставляємо вираз із попередньої формули й обчислюємо:

$$\Delta M = 2.53 \cdot 10^4 \cdot \frac{5.97 \cdot 10^{24}}{3.25 \cdot 10^7} \cdot \frac{4.5 \cdot 10^9}{1306/365} \cdot \frac{0.53 \cdot 10^6 \cdot 1.60 \cdot 10^{-19}}{9.00 \cdot 10^{16}} \text{ кг}.$$

Якщо виведена проміжна формула без проміжних розрахунків, то нараховуємо повний бал.

При обчисленні отримуємо: $\Delta M \approx 5.5 \text{ кг}. \text{ (3 бали)}$

**II ЕТАП ВСЕУКРАЇНСЬКОЇ УЧНІВСЬКОЇ ОЛІМПІАДИ З АСТРОНОМІЇ
У 2025/2026 НАВЧАЛЬНОМУ РОЦІ**

10 клас

II частина (2 години)

**Практичний тур
Тести (10 балів)**

1. Яке явище зумовлює блакитний колір неба?
А) Ультрафіолетова катастрофа
Б) Наявність великої кількості водяної пари
В) Наявність кисню в атмосфері
Г) Релеївське розсіювання
Ґ) Розсіювання Мі на флуктуаціях густини
2. Яка загальна тривалість (у роках) перебування зорі, подібної до Сонця, на стадії Головної послідовності?
А) 10^6
Б) 10^7
В) 10^8
Г) 10^9
Ґ) 10^{10}
3. Коли був відкритий Меркурій?
А) До нашої ери
Б) у 5 столітті нашої ери
В) у 10 столітті нашої ери
Г) у 16 столітті нашої ери
Ґ) у 20 столітті нашої ери
4. В якому сузір'ї знаходиться південний полюс світу?
А) Мала Ведмедиця
Б) Октант
В) Золота Риба
Г) Скульптор
Ґ) Південний Хрест
5. Якого метеорного потоку не існує?
А) Персеїди

Б) Цефеїди

В) Леоніди

Г) Каприкорніди

Г') Ліриди

6. Яке з наведених сузір'їв складається з двох частин?

А) Змія

Б) Риби

В) Гідра

Г) Змієносець

Г') Південна Корона

7. Який супутник планети є найближчим до Сонця?

А) Меркурій

Б) Фобос

В) Іо

Г) Мімас

Г') Місяць

8. Скільки планет Сонячної системи знаходяться від Сонця далі, ніж Головний пояс астероїдів?

А) 1

Б) 2

В) 3

Г) 4

Г') >4

9. Яка траєкторія руху комети **3I/ATLAS** відносно Сонця?

А) колова

Б) параболічна

В) еліптична

Г) гіперболічна

Г') прямолінійна

10. Скільки планет земної групи мають сидеричний період обертання навколо власної осі менший, ніж у Марса?

А) 1

Б) 2

В) 3

Г) 4

Г') >4

Задачі

1. (20 балів) На зображенні (рисунок на окремому аркуші) представлено Місяць у перигеї та апогеї його орбіти. Використовуючи лише подані зображення Місяця та геометричні побудови:

- визначте положення центра місячного диску для кожного із зображень
- розрахуйте ексцентриситет орбіти Місяця.

Користуючись ефемеридами Місяця, поданими у **таблиці 1***, визначте:

- в які дати 2025 року були зроблені відповідні знімки
- чому дорівнювала відстань від Землі до Місяця у відповідні дати
- користуючись знайденими відстанями до Місяця в кожну із дат, оцініть знову ексцентриситет його орбіти

Яким датам у 2025 році відповідають найбільша та найменша відстані від Місяця до Землі? Для цих двох дат запишіть наступні дані:

- дату, значення відстані в км, чверть, у якій у цей момент був Місяць

** Примітка: в таблиці з ефемеридами в стовпчиках міститься наступна інформація:*

(1) **Date (UT) HR:MN** – дата та час за Всесвітнім часом. Запис «2024-Jan-16 13:46» означає, що в даному рядку дані наведено для 16 січня 2024 року о 13 годині 46 хвилині за Всесвітнім часом.

(2) **R.A.** _____ **DEC** – пряме піднесення (R.A.) та схилення (Dec) центра небесного тіла. Значення подані в системі:

R.A. — у годинах (HH), хвилинах (MM) і секундах (SS.f{ffff}) часу: HH MM SS.f{ffff}

DEC — у градусах (sDD), хвилинах (MN) і секундах (SC.f{ffff}) дуги: sDD MN

SC.f{ffff}, де «s» перед «DD» відповідає знаку «+» або «-»

(3) **delta** – відстань від спостерігача до центра тіла (в нашому випадку Місяця), виражена в астрономічних одиницях

(4) **S-O-T** – кут «Сонце (SUN) – спостерігач (observer) – тіло (target)», тобто елонгація – це кут, виражений у градусах, між Сонцем та тілом, як його бачить спостерігач

(5) **lr** – код, що вказує видиме положення тіла відносно Сонця на небі спостерігача:

IT — тіло відстає від Сонця за екліптичною довготою;

IL — тіло випереджає Сонце за екліптичною довготою.

(6) **S-T-O** – кут «Сонце (SUN) – тіло (target) – спостерігач (observer)», тобто кут, виражений у градусах, між Сонцем та спостерігачем, як його видно з тіла.

2025 FULL MOON



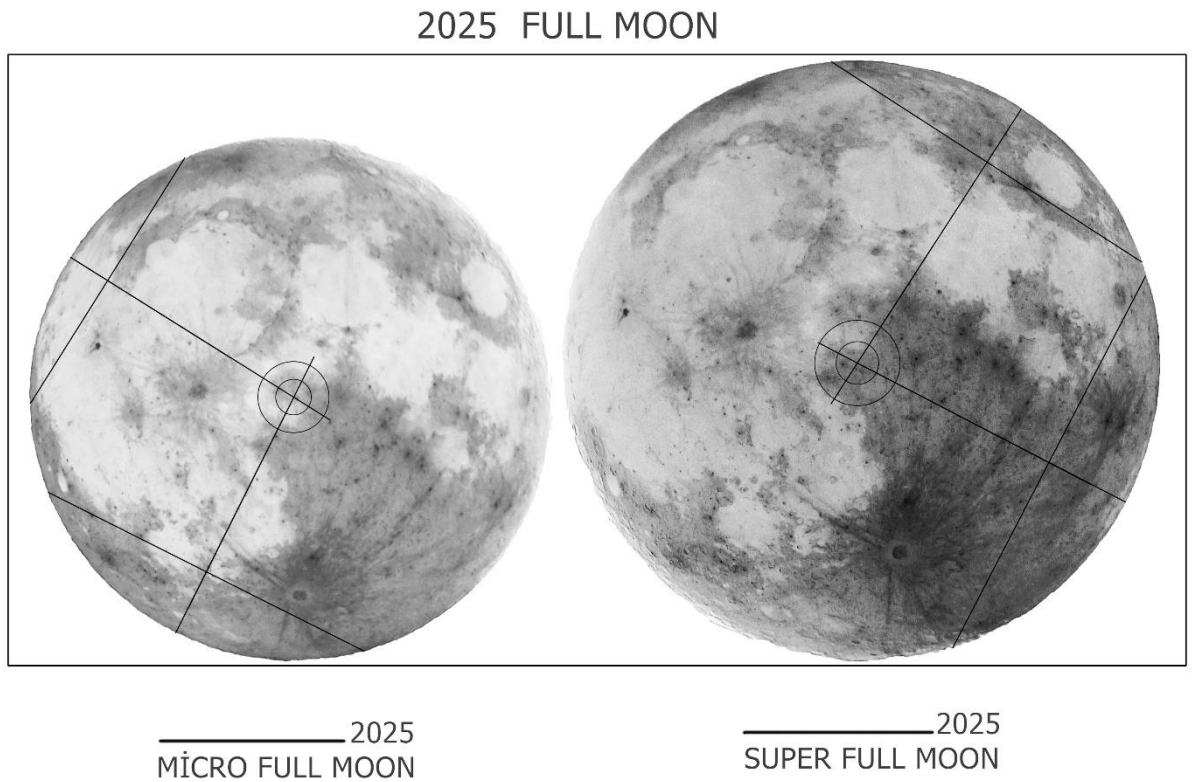
2025
MICRO FULL MOON

2025
SUPER FULL MOON

@ŞENOL ŞANLI

Розв'язок

1. Для визначення центра зображення Місяця проведемо дві довільні хорди та побудуємо серединні перпендикуляри до них. Точка перетину перпендикулярів і буде центром диску Місяця. (див. рис).



@ŞENOL ŞANLI

Визначення центра місячного диску – 2 бали (по 1 за кожен).

Інші коректні варіанти визначення центра місячного диска, які попадають у коло меншого діаметру – 1 бал, у коло більшого діаметру – 0.5 бала. Якщо визначений центр не попадає у жодне коло – 0 балів.

2. Вимірюємо діаметр обох дисків Місяця таки чином, щоб лінійка проходила через центр та обираємо ту частину диску, де краї більш гладкі. Діаметр меншого диска виходить 12.4 см, а більшого 14.2 см. Масштаб Вашого зображення може бути дещо інший. З цих вимірів ексцентриситет знаходимо завдяки наступним міркуванням:

$$r_p = a(1 - e)$$

$$r_a = a(1 + e)$$

Поділимо одне рівняння на інше і запишемо в рядок:

$$r_p(1 + e) = r_a(1 - e)$$

Звідки можна отримати:

$$e = \frac{(r_a - r_p)}{(r_a + r_p)}$$

2 бали

Розмір на зображенні обернено пропорційний відстані до Місяця. Отже можемо записати, що $r_a = \frac{k}{l_a}$; $r_p = \frac{k}{l_p}$, де k – коефіцієнт пропорційності.

Після заміни величин отримаємо:

$$e = \frac{(l_p - l_a)}{(l_p + l_a)}$$

2 бали

Підставивши значення, отримаємо ексцентриситет, рівний $e = 0.068$.

Загалом похибка ексцентриситету близька до $\Delta e \approx 0.010$, тому **0.058 – 0.078 оцінюється у 2 бали. Значення, які попадають у діапазон 0.048 – 0.088 (але не попадають у вузький діапазон) – 1 бал, поза – 0 балів.**

Якщо це відповідає положенню перицентра і апоцентра, знаходимо найменше і найбільше значення відстані. Але оскільки фото зроблені, коли фаза Місяця близька до повної, отже потрібно шукати ті положення, коли кут Сонце-Земля-Місяць близький до 180° .

Ідея знаходження моментів, коли вказаний кут близький до 180° - 3 бали.

Такими є 13 Apr: $r_{max} \approx 0.0027139$ а. о. і 06 Nov: $r_{min} \approx 0.0023853$ а. о.

Знаходження вказаних дат – 2 бали (по 1 балу за кожну дату).

Отримане значення ексцентриситету: $e = \frac{r_{max} - r_{min}}{r_{max} + r_{min}} = 0.064$.

Отримане значення ексцентриситету – 1 бал.

Якщо вибрати близькі значення дат до дат з близьким кутовим розміром Місяця, але не ці, то отримані значення ексцентриситету наведені у таблиці.

	13 Apr	12 May
6 Nov	0.064	0.063
5 Dec	0.064	0.063

Тобто отримані значення ексцентриситету дуже близькі.

У 2025 році найменше та найбільше значення відстані було:

$r_{max} = 407777.35$ км у момент 2025-Nov-20, кут Сонце-Земля-Місяць: 5.6001° L – спадний (фаза зменшується), майже новий.

$r_{min} = 357792.63$ км у момент 2025-Nov-06, кут Сонце-Земля-Місяць: 172.1767° L – спадний (фаза зменшується), майже повний.

По 1 балу за кожен правильно вказаний параметр (максимальна/мінімальна відстань, дату та фазу) – разом $3 \times 2 = 6$ балів.

2. (10 балів) Якийсь жартівник замалював області з 5-ма дуже яскравими зорями на зоряній мапі (**рисунок на окремому аркуші**), пронумерувавши їх від 1 до 5. Відновіть справедливність, підпишіть, під яким номером яка із зір захована, заповнивши **таблицю 2**. Назви зір (затверджені Міжнародним Астрономічним Союзом, англійською мовою або подані в українській транслітерації) оберіть із переліку в **таблиці 3**, попередньо заповнивши всі порожні місця в ній. Всі замальовані зорі на мапі точно наявні в поданій таблиці.

Таблиця 2. Таблиця відновлення справедливості

Номер зорі	Назва зорі	Позначення за Басром
1	Полярна (0.5 бала)	α Малої Ведмедиці (0.5 бала)
2	Дубхе (0.5 бала)	α Великої Ведмедиці (0.5 бала)
3	Спіка (0.5 бала)	α Діви (0.5 бала)
4	Арктур (0.5 бала)	α Волопаса (0.5 бала)
5	Вега (0.5 бала)	α Ліри (0.5 бала)

Таблиця 3. Допоміжна таблиця до таблиці відновлення справедливості

Назва зорі	Позначення за Басром
Алголь	β Персея (0.5 бала)
<u>Арктур (0.5 бала)</u>	α Волопаса
Вега	<u>α (0.5 бала)</u> Ліри
Дубхе	<u>α (0.5 бала)</u> Великої Ведмедиці
<u>Капелла (0.5 бала)</u>	α Візничого
Кастор	α <u>Близнюків (0.5 бала)</u>
Мірфак	<u>α (0.5 бала)</u> Персея
Полярна	α <u>Малої Ведмедиці (0.5 бала)</u>
<u>Рігель (0.5 бала)</u>	β Оріона
<u>Спіка (0.5 бала)</u>	α Діви

