

Завдання 11 класу
I етапу Всеукраїнської учнівської олімпіади з астрономії
Київ, 22.10.2025
Час виконання: 15:30-17:30

Шифр: А _____

Тестові завдання (оберіть одну правильну відповідь):

1. Найближче розсіяне зоряне скупчення:

- А) Плеяди
- Б) Гіади
- В) Пояс Оріона
- Г) Голова Гідри
- Ґ) МЗ

2. Який об'єкт Сонячної системи, за сучасними уявленнями, є джерелом довгоперіодичних комет?

- А) Пояс астероїдів
- Б) Пояс Койпера
- В) Хмара Оорта
- Г) Супутники Юпітера
- Ґ) Троянські астероїди

3. Що таке "чорна діра"?

- А) Зоря з надзвичайно низькою температурою
- Б) Об'єкт, що складається з темної матерії
- В) Область простору-часу з настільки сильною гравітацією, що ніщо не може її покинути
- Г) Тьмяна газова туманність
- Ґ) Планета без атмосфери

4. Що є основним джерелом енергії для зір головної послідовності, таких як Сонце?

- А) Гравітаційне стиснення
- Б) Горіння гелію
- В) Термоядерний синтез із водню
- Г) Анігіляція
- Ґ) Радіоактивний розпад

5. Космічні промені надвисоких енергій можуть мати енергії $\sim 10^{20}$ еВ. Із якої приблизно висоти в однорідному полі тяжіння Землі має впасти камінь масою 1 кг, щоб набути такої кінетичної енергії:

- А) Товщина листка А4
- Б) Висота сірникової коробки
- В) Довжина листка А4

- Г) Висота людського зросту
- Г) Висота п'ятиповерхівки

6. Спостерігач помітив, що лінія водню ($H\alpha$), лабораторна довжина хвилі якої 656.3 нм, у спектрі далекої галактики зміщена до 662.9 нм. Що це означає?

- А) Галактика наближається
- Б) Галактика обертається
- В) Галактика віддаляється
- Г) Галактика має високу температуру
- Г) В галактиці немає водню

7. Що таке метелики Маундера?

- А) Перші комахи, які побували у космосі
- Б) Термін, який застосовується у теорії хаосу на позначення нестійкості системи
- В) Діаграма широтної залежності плям на Сонці
- Г) Ефект, який проявляється при дослідженні вертикальних профілів озону
- Г) Планетарна туманність (NGC 6302)

8. У якій частині спектра електромагнітних хвиль реліктове випромінювання має максимум енергії?

- А) Рентгенівській
- Б) Видимій
- В) Інфрачервоній
- Г) Ультрафіолетовій
- Г) Мікрохвильовій

9. Як називається явище, коли видима зоряна величина зорі періодично змінюється через те, що її закриває інша, тьмяніша зоря-компонент подвійної системи?

- А) Нова зоря
- Б) Затемнювано-змінна зоря
- В) Пульсар
- Г) Цефеїда
- Г) Наднова зоря

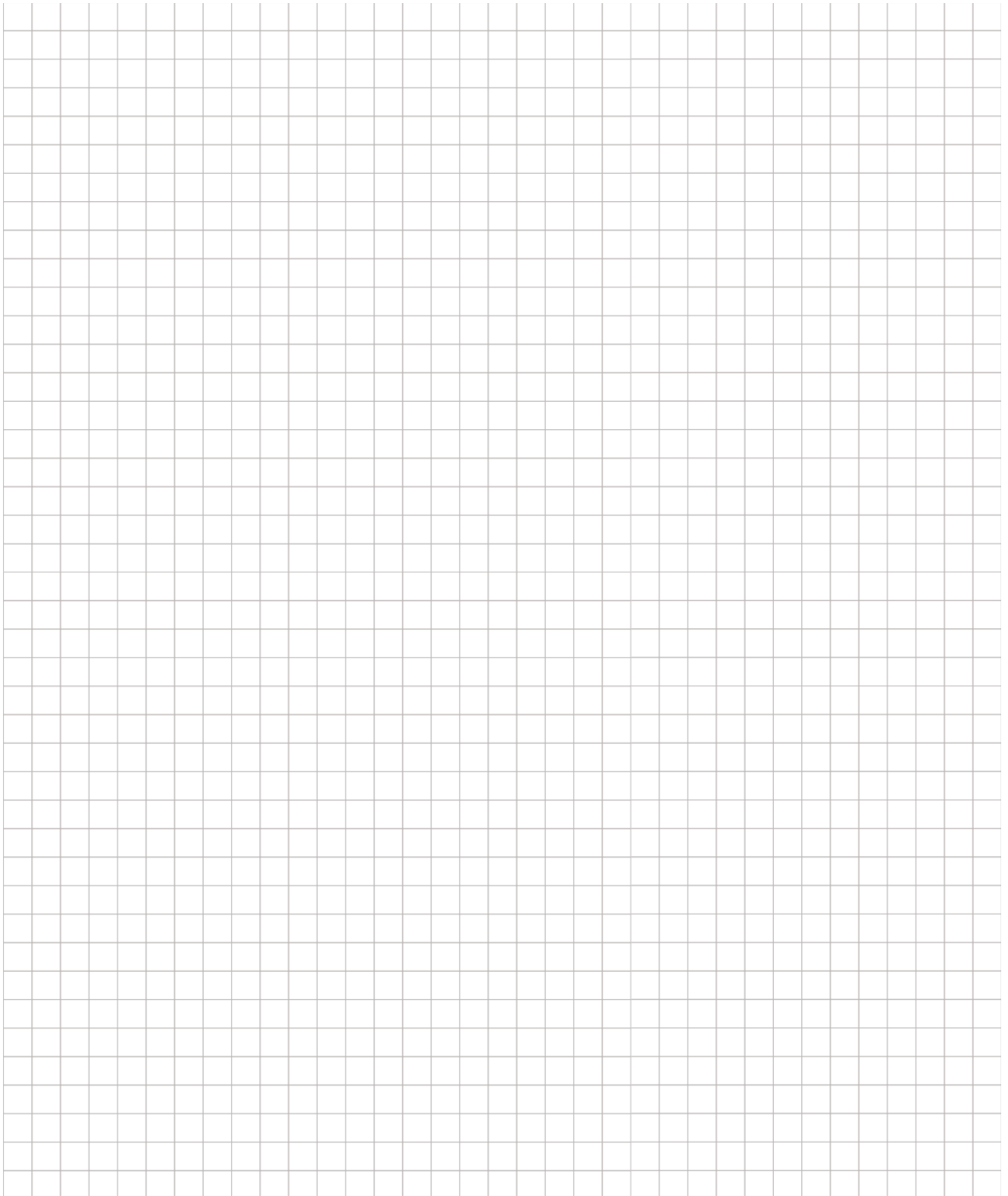
10. Яка фаза Місяця є оптимальною для спостереження за слабкими об'єктами далекого космосу (галактиками, туманностями) вночі?

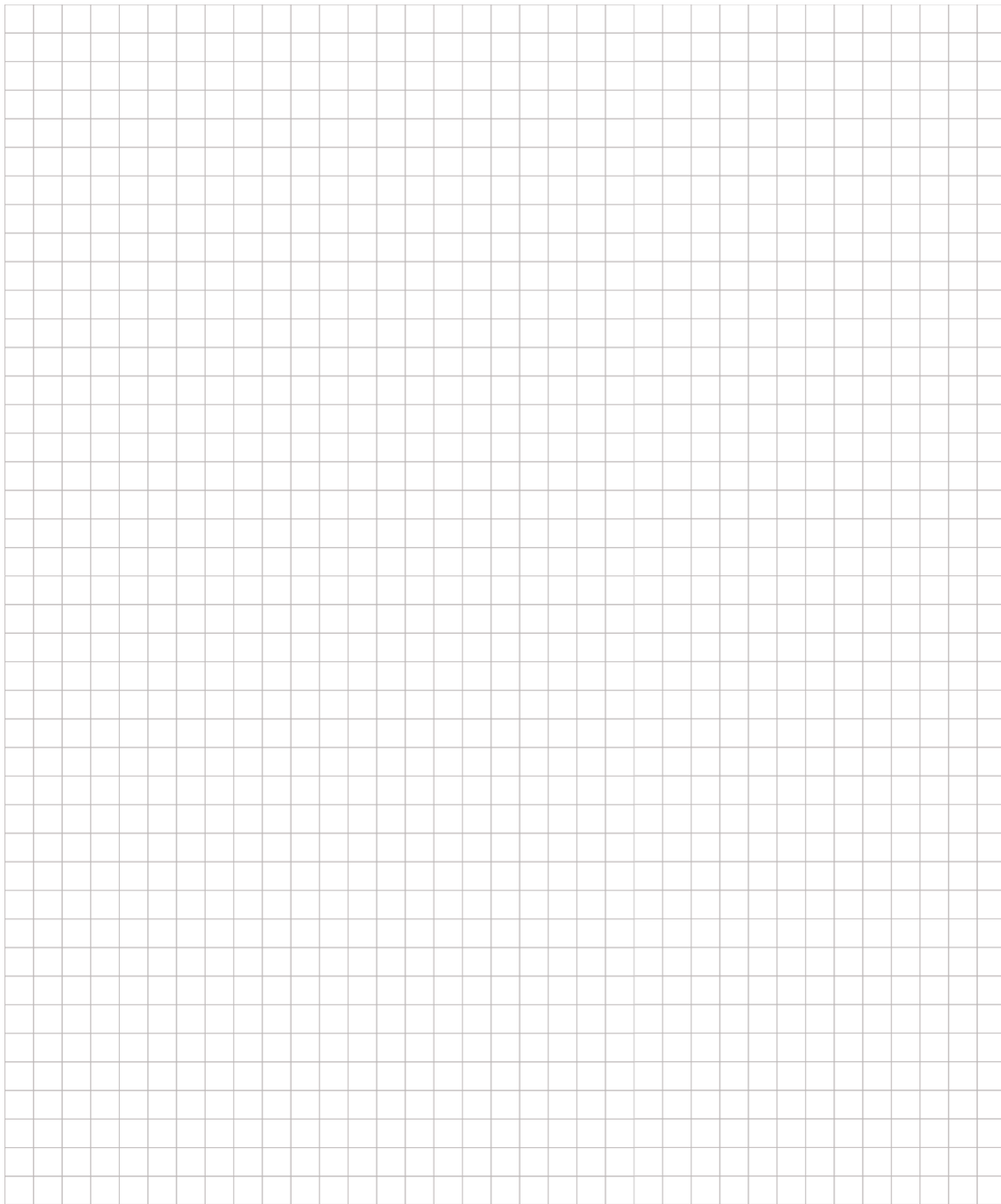
- А) Повня
- Б) Перша чверть
- В) Новий місяць
- Г) Остання чверть
- Г) Будь-яка фаза

Шифр: А _____

Розв'язати задачі

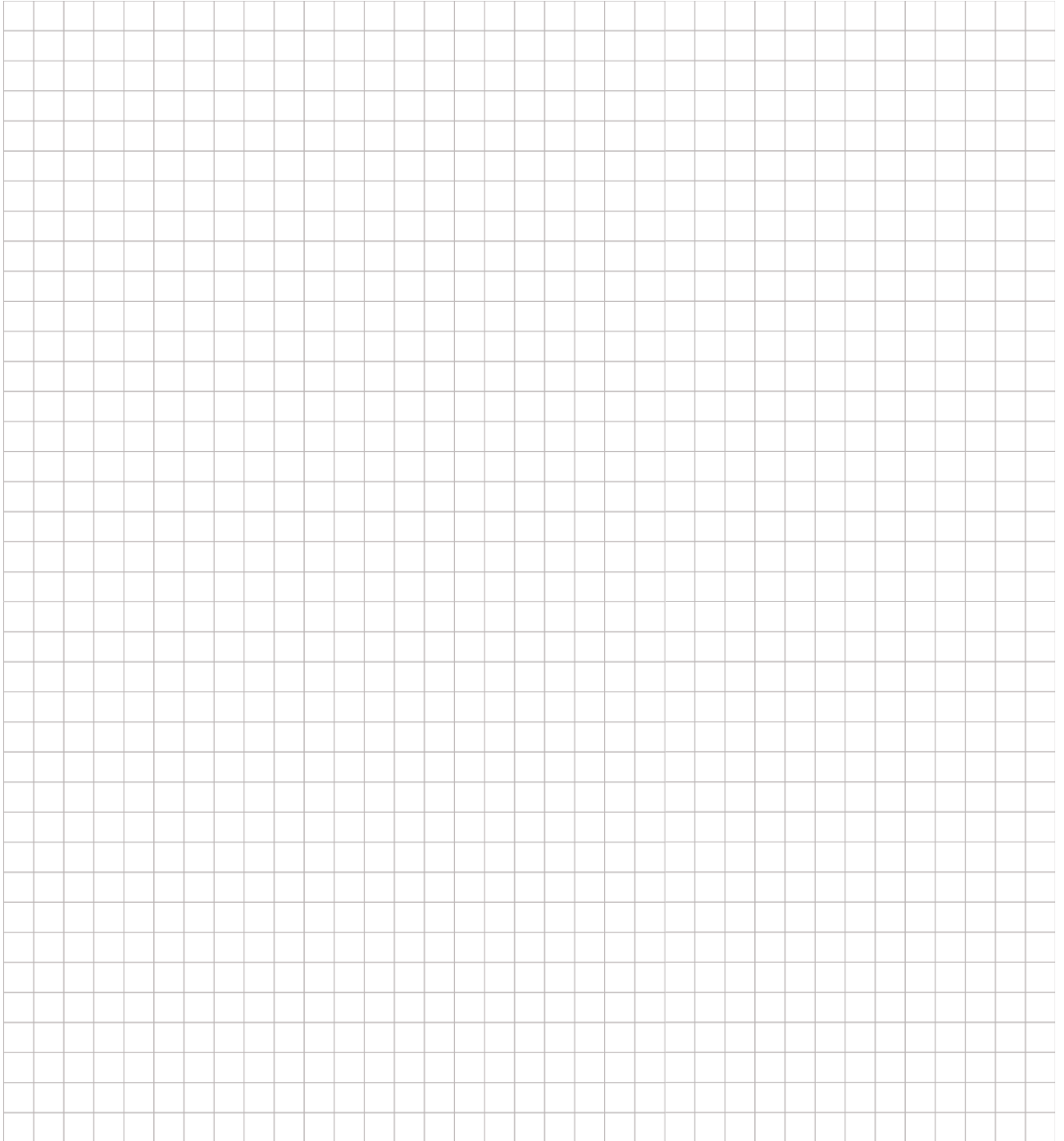
1. Дві зорі обертаються навколо спільного центру мас по колових орбітах. Період обертання системи становить 5 років. Максимальне доплерівське зміщення спектральної лінії однієї зорі відповідає швидкості 20 км/с, а іншої — 30 км/с відносно центру мас. Площина орбіти лежить у промені зору спостерігача. Обчисліть масу кожної зорі в масах Сонця.

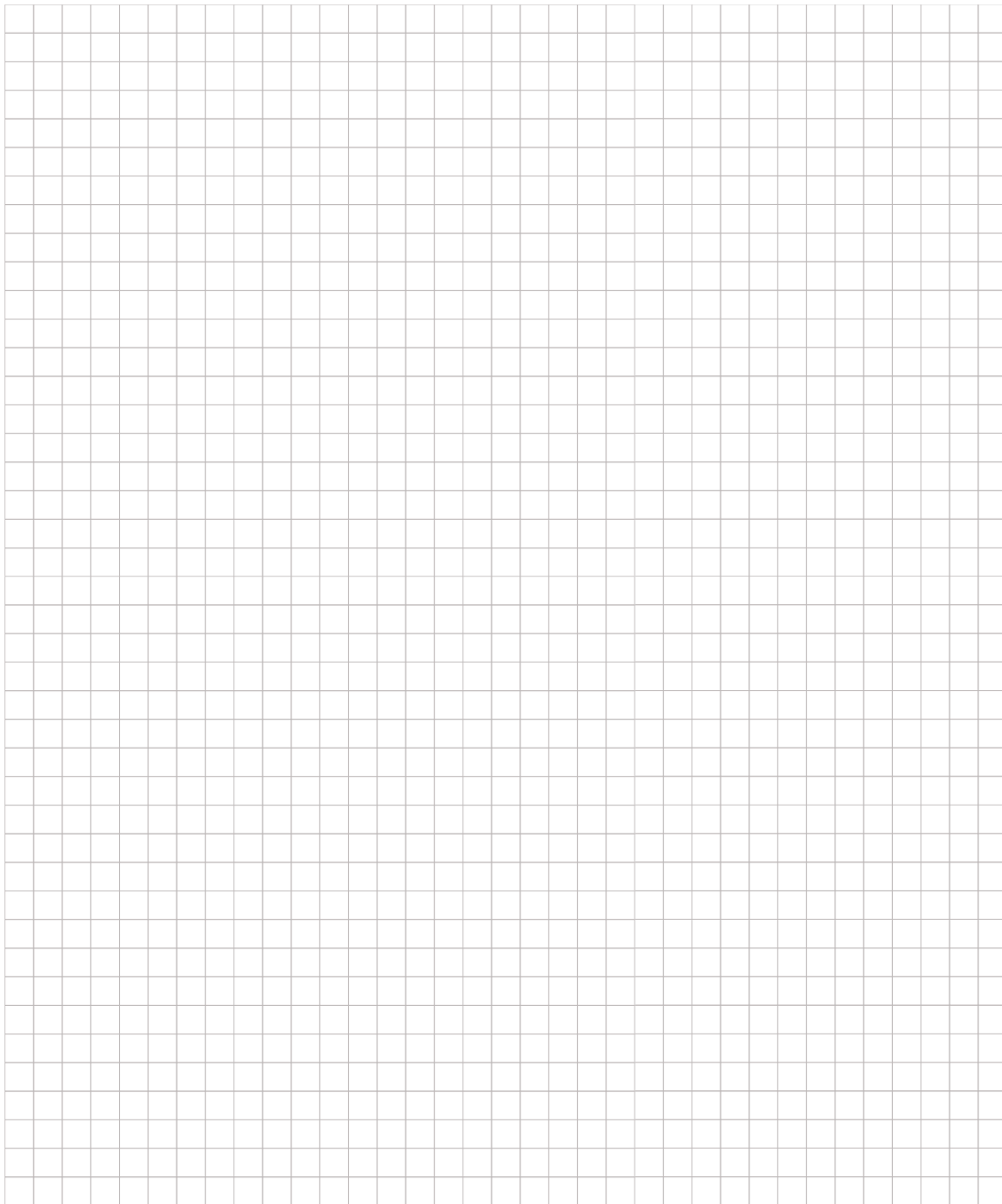




Шифр: А _____

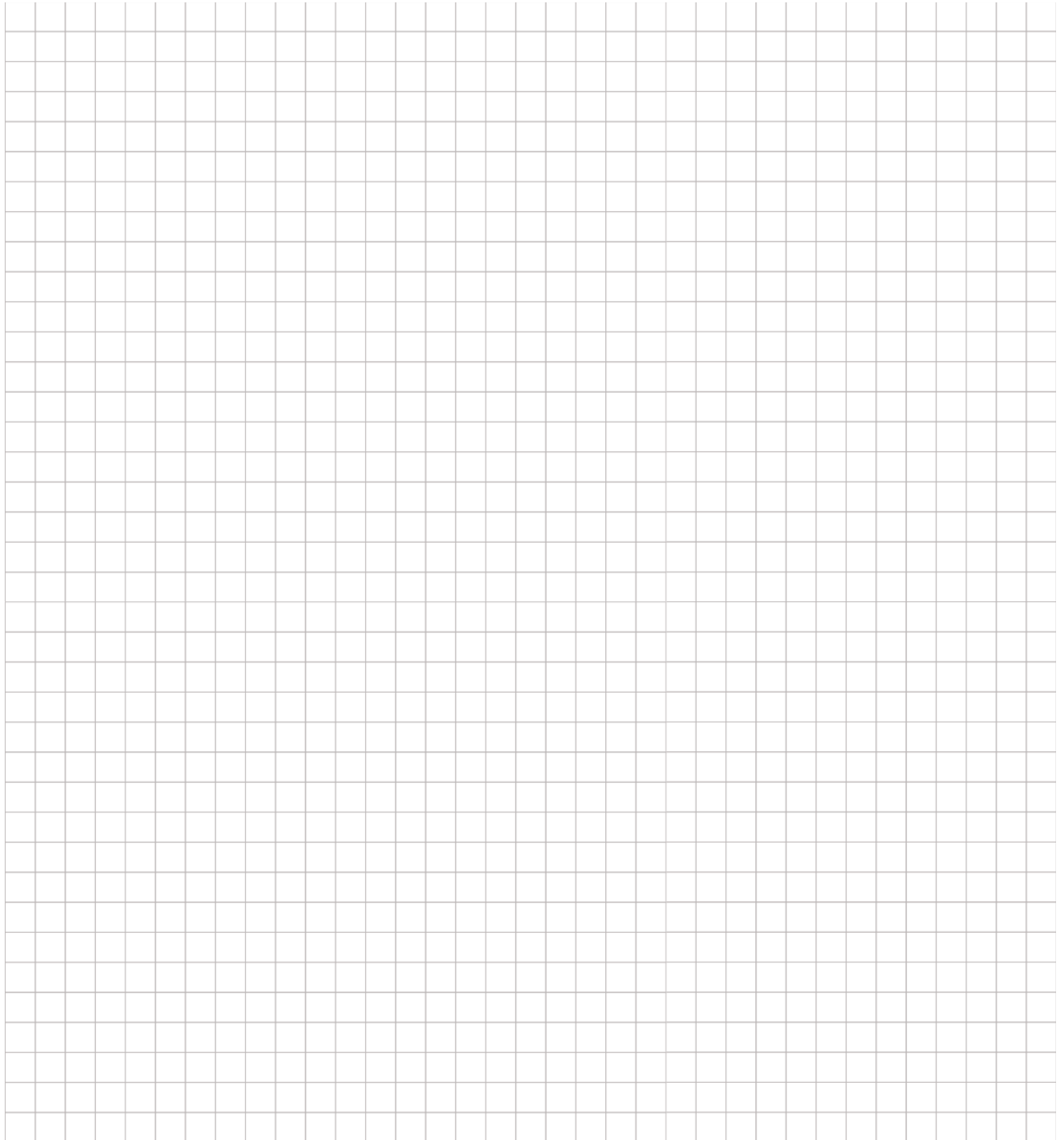
2. Пульсар — це нейтронна зоря, що швидко обертається і випромінює вузькі пучки радіохвиль. Пульсар у Крабоподібній туманності має період обертання 33 мілісекунди. Припустимо, що його маса становить 1.5 маси Сонця, а радіус — 12 км. Знайдіть лінійну швидкість точки на екваторі пульсара та порівняйте її зі швидкістю світла. Чому пульсар не може розлетітися на шматки?

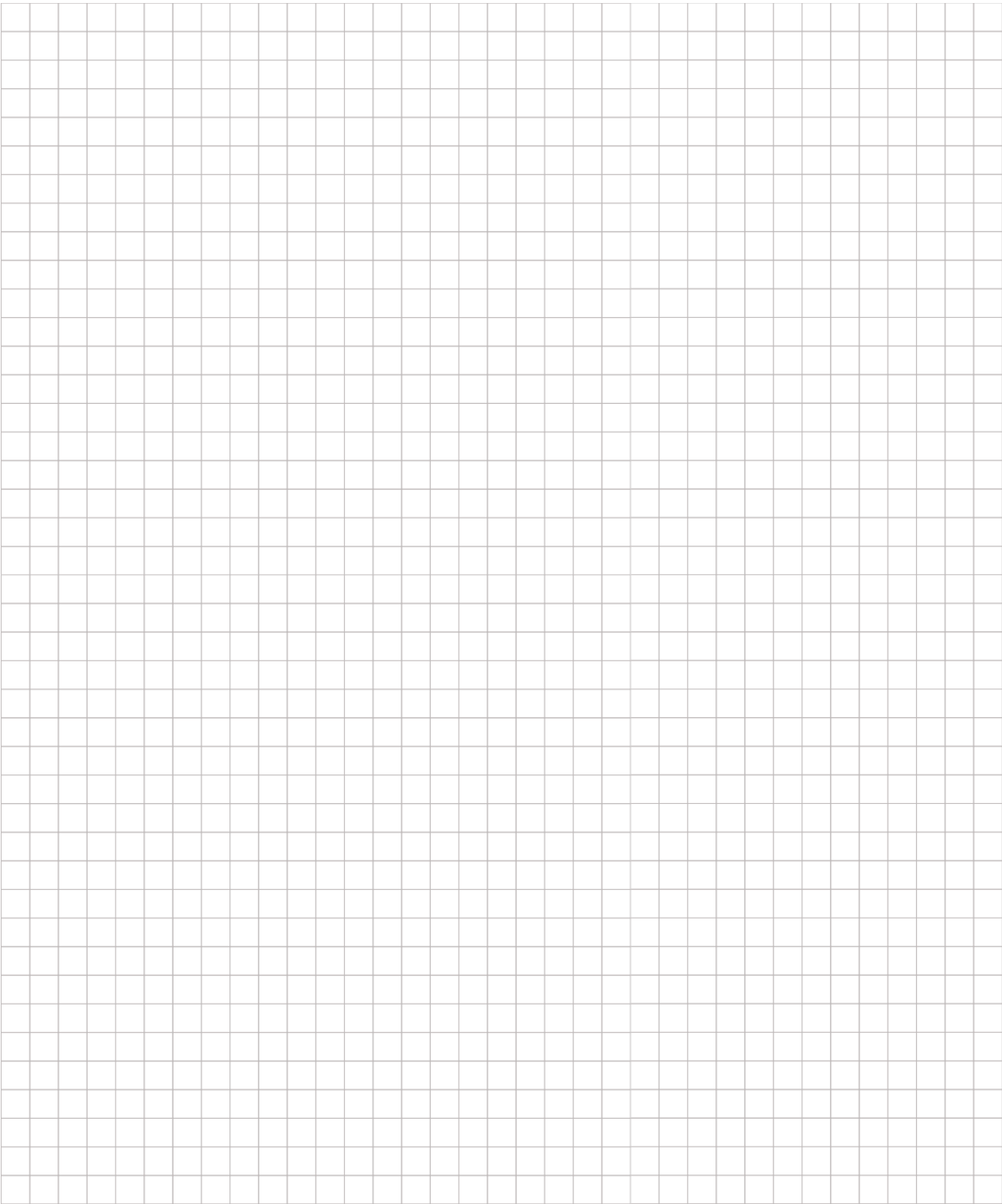




Шифр: А _____

3. Сіріус має пряме піднесення $\alpha = 6^h 45^m$ і схилення $\delta = -16^\circ 43'$. Паралакс Сіріуса становить $\pi = 0.379''$, а видима зоряна величина $m = -1.46$. Для Проціона маємо, відповідно, $\alpha = 7^h 39^m$, $\delta = +05^\circ 13'$, $\pi = 0.285''$, $m = +0.34$. Знайдіть видиму зоряну величину Сіріуса при спостереженні з системи Проціона.

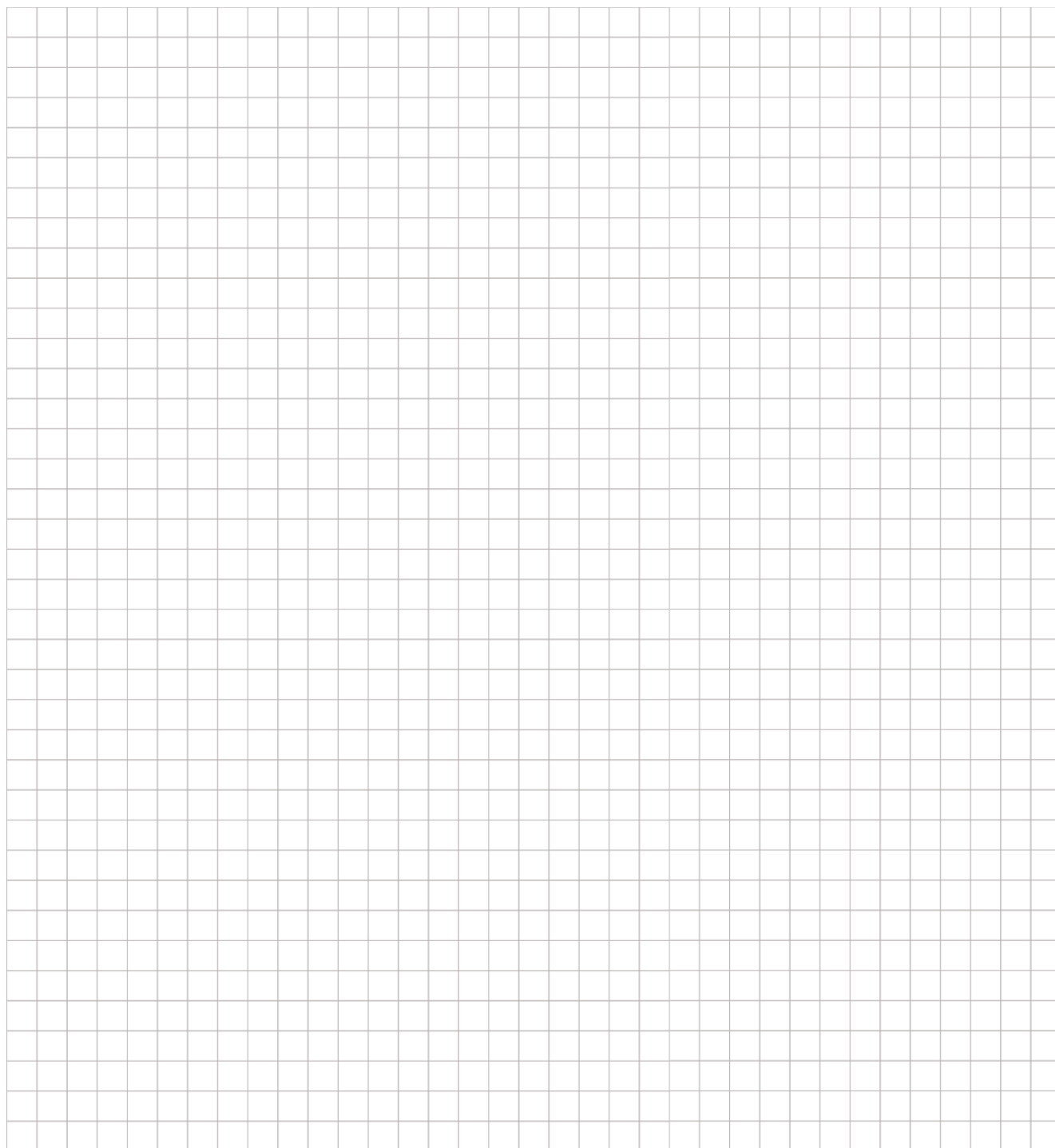


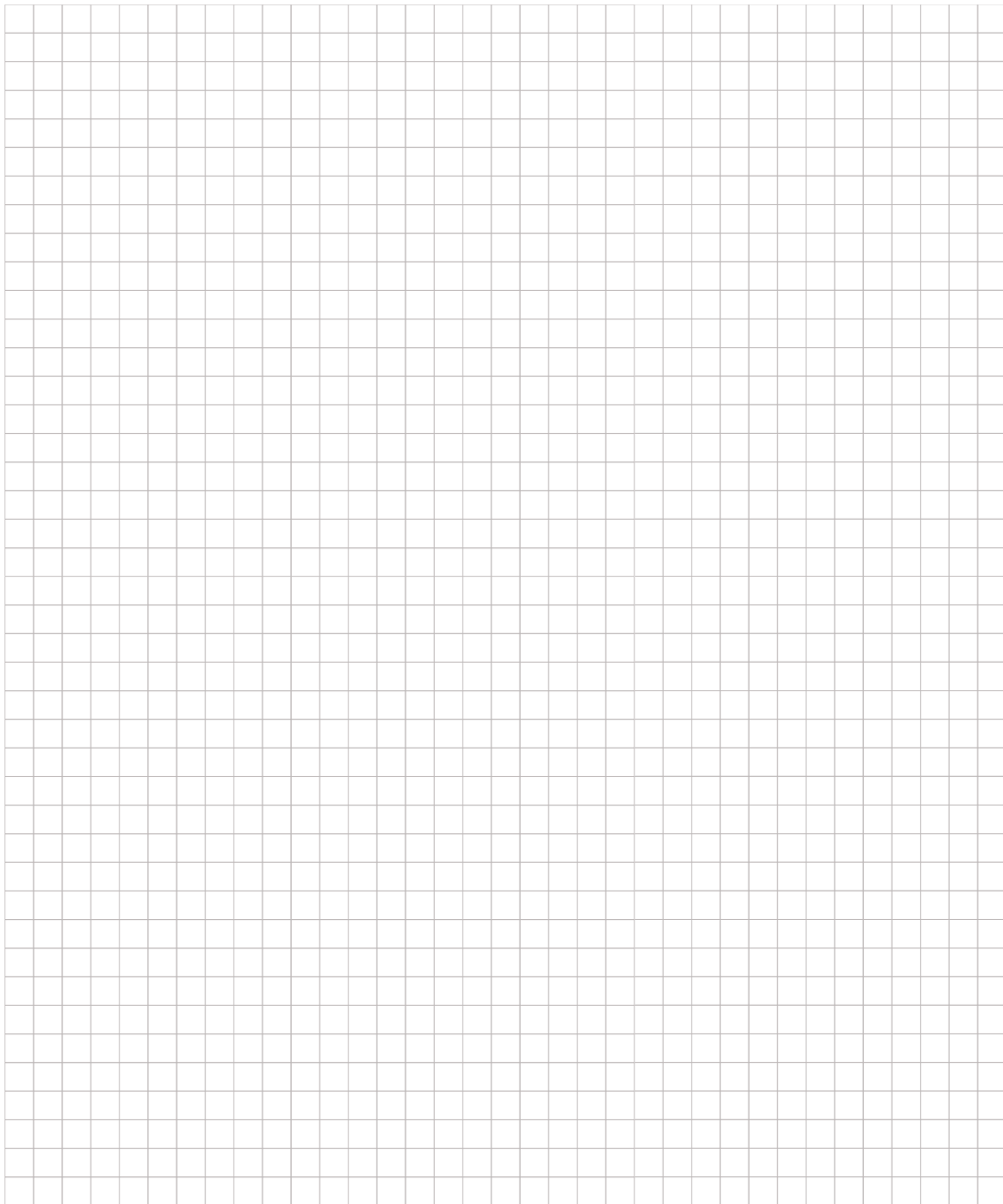


4. Найбільшу кількість екзопланет було виявлено транзитним методом. Метод ґрунтується на фіксації зменшення блиску зорі при проходженні попереду неї планети. Космічний телескоп TESS (*Transiting Exoplanet Survey Satellite*) здатен помітити зміну зоряної величини близько 0.001^m . Оцініть, якого радіуса повинна бути екзопланета, щоб зафіксувати її транзит по зорі типу Сонця. Параметри Сонця:

$$M_{\odot} = 1.99 \cdot 10^{30} \text{ кг}, L_{\odot} = 3.83 \cdot 10^{26} \text{ Вт}, R_{\odot} = 6.96 \cdot 10^8 \text{ м}.$$

Радіус екзопланети виразіть у радіусах Юпітера. Радіус Юпітера: $R_J = 69900 \text{ км}$.





Відповіді
I етапу Всеукраїнської учнівської олімпіади з астрономії
11 клас

1. Найближче розсіяне зоряне скупчення:

Б) Гіади

Гіади — найближче до нас розсіяне скупчення (~150 св. років).

2. Який об'єкт Сонячної системи, за сучасними уявленнями, є джерелом довгоперіодичних комет?

В) Хмара Оорта

Саме з неї надходять комети з періодами понад 200 років.

3. Що таке "чорна діра"?

В) Область простору-часу з настільки сильною гравітацією, що ніщо не може її покинути

4. Що є основним джерелом енергії для зір головної послідовності, таких як Сонце?

В) Термоядерний синтез із водню

5. Космічні промені надвисоких енергій можуть мати енергії $\sim 10^{20}$ еВ. Із якої приблизно висоти в однорідному полі тяжіння Землі має впасти камінь масою 1 кг, щоб набути такої кінетичної енергії:

Г) Висота людського зросту

Енергія = $mgh \rightarrow h = E/(mg)$

$E = 10^{20} \text{ еВ} = 1.6 \times 10^{-19} \times 10^{20} = 16 \text{ Дж,}$

$h = 16 / (1 \times 9.8) \approx 1.6 \text{ м}$

6. Спостерігач помітив, що лінія водню ($H\alpha$), лабораторна довжина хвилі якої 656.3 нм, у спектрі далекої галактики зміщена до 662.9 нм. Що це означає?

В) Галактика віддаляється

$\Delta\lambda/\lambda = (662.9 - 656.3)/656.3 \approx 0.010 \rightarrow z \approx 0.01 \rightarrow \text{червоний зсув.}$

7. Що таке метелики Маундера?

В) Діаграма широтної залежності плям на Сонці

8. У якій частині спектра електромагнітних хвиль реліктове випромінювання має максимум енергії?

Г) Мікрохвильовій

9. Як називається явище, коли видима зоряна величина зорі періодично змінюється через те, що її закриває інша, тьмяніша зоря-компонент подвійної системи?

Б) Затемнювано-змінна зоря

10. Яка фаза Місяця є оптимальною для спостереження за слабкими об'єктами далекого космосу (галактиками, туманностями) вночі?

В) Новий місяць

Розв'язок задач

1. Подвійна зоря.

Для двох зір у коловій орбіті навколо спільного центру мас (закон моментів)

$$M_1 v_1 = M_2 v_2 \Rightarrow M_1 / M_2 = v_2 / v_1 = 1.5.$$

$$\text{Отже } M_1 = 1.5 M_2$$

Для двох тіл, що обертаються навколо спільного центру мас, закон Кеплера:

$$T^2 = \frac{4\pi^2 a^3}{G(M_1 + M_2)}$$

де $a = r_1 + r_2$ - відстань між зорями.

Крім того, для колової орбіти:

$$v_1 = \frac{2\pi r_1}{T}, \quad v_2 = \frac{2\pi r_2}{T}$$

$$\text{Отже: } r_1 = \frac{v_1 T}{2\pi}, \quad r_2 = \frac{v_2 T}{2\pi}$$

$$\text{Сума: } a = r_1 + r_2 = \frac{(v_1 + v_2)T}{2\pi}$$

Сумарна маса:

$$M_1 + M_2 = \frac{4\pi^2 a^3}{GT^2} = \frac{4\pi^2 \left(\frac{(v_1 + v_2)T}{2\pi} \right)^3}{GT^2} = \frac{(v_1 + v_2)^3 T}{2\pi G}$$

Оскільки

$$v_1 + v_2 = 20 + 30 = 50 \text{ км/с} = 5 \cdot 10^4 \text{ м/с}$$

$$G = 6.674 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{кг}^2$$

$$T = 5 \text{ років} = 5 \cdot 365.25 \cdot 24 \cdot 3600 \approx 1.577 \cdot 10^8 \text{ с}$$

$$M_1 + M_2 = \frac{(5 \cdot 10^4)^3 \cdot 1.577 \cdot 10^8}{2\pi \cdot 6.674 \cdot 10^{-11}} \approx 4.70 \cdot 10^{31} \text{ кг}$$

$$\text{Маса Сонця: } M_{\odot} \approx 1.989 \cdot 10^{30} \text{ кг}$$

$$M_1 + M_2 \approx \frac{4.70 \cdot 10^{31}}{1.989 \cdot 10^{30}} \approx 23.6 M_{\odot}$$

Знайдемо окремі маси:

$$M_1 + M_2 = 23.6, \quad M_1 = 1.5 M_2$$

$$1.5 M_2 + M_2 = 2.5 M_2 = 23.6 \Rightarrow M_2 \approx 9.44 M_{\odot}, \quad M_1 \approx 14.1 M_{\odot}$$

Відповідь: $M_2 \approx 9.44 M_{\odot}$, $M_1 \approx 14.1 M_{\odot}$

2. Пульсар у крабоподібній туманності

- Період обертання $P=33$ мілісекунди $= 0.033$ сек.
- Радіус - $R = 12 \text{ км} = 1.2 \times 10^4 \text{ м}$.
- Маса - $M = 1.5, M_{\odot} = 1.5 \times 1.989 \times 10^{30} = 2.9835 \times 10^{30} \text{ кг}$
- Швидкість світла $c \approx 3.00 \times 10^8 \text{ м/с}$
- Гравітаційна стала $G = 6.674 \times 10^{-11} \text{ м}^3 \text{ кг}^{-1} \text{ сек}^{-2}$

Лінійна (тангенціальна) швидкість на екваторі

$$v = \frac{2\pi R}{P}.$$

Підставляємо:

$$v = \frac{2\pi \cdot 1.2 \times 10^4}{0.033} \text{ м/сек} \approx 2.285 \times 10^6 \text{ м/сек} \approx 2285 \text{ км/сек}.$$

Відношення до швидкості світла:

$$\frac{v}{c} \approx \frac{2.285 \times 10^6}{3.00 \times 10^8} \approx 7.6 \times 10^{-3} \approx 0.76\%.$$

Отже, близько **0.76% від швидкості світла**

(тобто істотно менше швидкості світла).

Чому пульсар не розлітається на шматки?

Порівнюємо відцентрове прискорення з гравітаційним прискоренням на поверхні.

- Кутова швидкість: $\omega = \frac{2\pi}{P} \approx \frac{2\pi}{0.033} \approx 190.99 \text{ рад/сек}$
- Відцентрове прискорення на екваторі:

$$a_{\text{cent}} = \omega^2 R \approx (190.99)^2 \times 1.2 \times 10^4 \approx 4.38 \times 10^8 \text{ м/сек}^2.$$

- Гравітаційне прискорення на поверхні:

$$g = \frac{GM}{R^2} = \frac{6.674 \times 10^{-11} \cdot 2.9835 \times 10^{30}}{(1.2 \times 10^4)^2} \approx 1.38 \times 10^{12} \text{ м/сек}^2.$$

Порівняння:

$$\frac{g}{a_{\text{cent}}} \approx \frac{1.38 \times 10^{12}}{4.38 \times 10^8} \approx 3.1 \times 10^3.$$

Тобто гравітація на поверхні приблизно в 3000 разів сильніша, ніж відцентрове "розпираюче" прискорення – тому обертання не досягає розривного порогу.

Відповідь: лінійна швидкість на екваторі 2285 км/сек, це $\approx 0.76\%$ від швидкості світла; пульсар не розлітається, бо гравітаційна взаємодія (та тиск вироджених нейтронів) значно перевищують відцентрові сили.

3. Сіріус при спостереженні з системи Проціона.

Відстані обчислюємо на основі паралаксів як

$$r(nk) = \frac{1}{\pi''}.$$

Тому

$$r_C = 2.64 nk;$$

$$r_{II} = 3.51 nk$$

Кутову відстань між зорями на небесній сфері, яка відповідає куту між напрямками на зорі, можемо визначити зі сферичного трикутника "Північний полюс – Сіріус - Проціон". За теоремою косинусів:

$$\cos \psi = \cos(90^\circ - \delta_C) \cos(90^\circ - \delta_{II}) + \sin(90^\circ - \delta_C) \sin(90^\circ - \delta_{II}) \cos(\alpha_C - \alpha_{II}), \text{ тобто,}$$

$$\cos \psi = \sin \delta_C \sin \delta_{II} + \cos \delta_C \cos \delta_{II} \cos(\alpha_C - \alpha_{II})$$

Переводимо різницю прямих піднесенень із годин у градуси, враховуючи, що

$$1^h = 15^\circ;$$

$$1^m = 15'$$

Обчислюємо косинус кутової відстані:

$$\cos \psi = -\sin 16.7^\circ \sin 5.2^\circ + \cos 16.7^\circ \cos 5.2^\circ \cos 13.5^\circ = 0.901.$$

Тому

$$\psi = 25.7^\circ.$$

Тепер із теореми косинусів для плоского трикутника "Сонце – Сіріус – Проціон" маємо:

$$r_{CII}^2 = r_C^2 + r_{II}^2 - 2r_C r_{II} \cos \psi.$$

Підставляємо необхідні величини:

$$r_{CII}(nk) = \left(2.64^2 + 3.51^2 - 2 \cdot 2.64 \cdot 3.51 \cos 25.7^\circ \right)^{1/2} = 1.61.$$

Блиск Сіріуса на такій відстані знаходимо з формули Погсона, враховуючи спадання освітленості за законом обернених квадратів:

$$10^{\frac{2}{5}(m_C - m_{CII})} = \frac{E_{CII}}{E_C} = \left(\frac{r_C}{r_{CII}} \right)^2.$$

Тому

$$m_{CII} = m_C - 5 \lg \frac{r_C}{r_{CII}} = -1.46 - 5 \lg \frac{2.64}{1.61} = -2.53.$$

Відповідь: Видима зоряна величина Сіріуса при спостереженні з системи Проціона дорівнює приблизно $m \approx -2.53$.

4. Транзит екзопланети.

$$\Delta m = 0.001^m, M_{\odot} = 1.99 \cdot 10^{30} \text{ кг}, L_{\odot} = 3.83 \cdot 10^{26} \text{ Вт}, R_{\odot} = 6.96 \cdot 10^8 \text{ м}.$$

$$\text{Радіус Юпітера: } R_J = 69900 \text{ км}.$$

Розв'язок

Температура екзопланети значно менша зазвичай, аніж температура зорі, тому будемо вважати її «холодною». При проходженні екзопланети радіусом r перекривається площа зорі πr^2 , враховуючи, що відстань дуже велика до системи (транзит центральний – максимальне затемнення).

Таким чином потік від зорі:

$$E = E_0 \frac{\pi R^2}{\pi R^2 - \pi r^2} \Rightarrow \frac{E_0}{E} = \left(1 - \frac{r^2}{R^2}\right) = 10^{-0.4\Delta m} \Rightarrow r = R \sqrt{1 - 10^{-0.4\Delta m}}$$

$$\text{А в радіусах Юпітера } r = 0.3 R_J$$

Відповідь: Щоб TESS зафіксував транзит по зорі типу Сонця з $\Delta m \approx 0.001^m$, екзопланета повинна мати радіус приблизно $r \approx 0.3 R_J$.