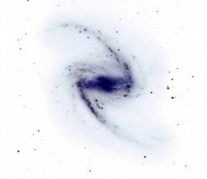


<p><b>XI Всеукраїнська учнівська олімпіада з астрономії</b>  <b>м. Львів,</b>  <b>31 березня – 5 квітня 2024 р.</b></p>		<p><b>Теоретичний тур</b>  <b>11 клас</b></p>
---	---	---

### 1. Комета.

Цікава комета, площина орбіти якої співпадає з площиною екліптики, пройде перигелій 21 квітня 2024 року, досягнувши блиску  $3^m.3$ , та матиме елонгацію  $22^\circ$ . Мінімальна відстань між кометою і Землею становитиме 1.546 а.о. 2 червня 2024 року. Велика піввісь орбіти комети – 17.2045 а.о., ексцентриситет – 0.9546.

Для моменту проходження перигелію кометою оцініть:

- відстань від комети до Сонця,
- відстань від комети до Землі,
- променеву та поперечну компоненти швидкості комети для спостерігача на Землі,
- дату наступного проходження перигелію кометою. **(10 балів)**

### 2. Подвійна зоря.

Обидві зорі в подвійній системі є зорями головної послідовності. Промінь зору спостерігача лежить в площині орбіти цієї системи. Її річний паралакс становить  $0''.168$ . Одна компонента має радіус  $1.01R_\odot$  та температуру фотосфери 6087 К. З кривої блиску з'ясовано, що глибина первинного мінімуму становить  $0^m.544$ , а вторинного –  $0^m.086$ . Визначте відстань до цієї зоряної системи, а також радіус та температуру другої компоненти. **(10 балів)**

### 3. Планетна система TOI-715.

Міжнародна група вчених на чолі з Джорджиною Дрансфілд (Georgina Dransfield) з Бірмінгемського університету, Велика Британія, у січні 2024 року опублікувала статтю «A 1.55  $R_\oplus$  habitable-zone planet hosted by TOI-715, an M4 star near the ecliptic South Pole» в науковому журналі «Monthly Notices of the Royal Astronomical Society».

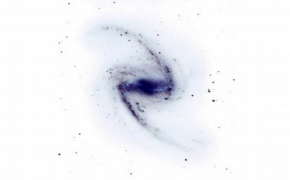
У ній йдеться про відкриття суперземлі під назвою TOI-715 b, що обертається навколо крихітної червонуватої зорі, яка знаходиться «досить близько» до Сонця – всього за 138.49 світлових років. TOI-715 b за розмірами в півтора рази більша за Землю. Привабливості їй додає те, що вона розташована в зоні, придатній для життя.

Разом із цим існує припущення про існування другої планети в цій системі TOI-715 c. Друга планета може бути близькою за розмірами до Землі і перебувати також в зоні, придатній для життя (там, де рідка вода може існувати на поверхні планети).

Припустимо, що ця планета – копія Землі.

- Якою має бути велика піввісь гіпотетичної планети TOI-715 c, щоб потік випромінювання від зорі на цю планету дорівнював земному?
- Якою, в цьому випадку, може бути тривалість року на цій планеті?
- Оцініть межі зони, придатної для життя, в системі TOI-715 (ефективна температура планети має бути в діапазоні від  $0^\circ\text{C}$  до  $100^\circ\text{C}$ ).

Параметри зорі TOI-715:  $M = 0.225M_\odot$ ,  $R = 0.24R_\odot$ ,  $T = 3074\text{ K}$ . Вважайте, що альbedo та парникові властивості атмосфери планети не залежать від спектрального складу випромінювання зорі і не змінюються при русі планети. **(10 балів)**

<p align="center"><b>XI Всеукраїнська учнівська олімпіада з астрономії</b> м. Львів, <b>31 березня – 5 квітня 2024 р.</b></p>		<p align="center"><b>Теоретичний тур</b>  <b>11 клас</b></p>
---	---	--

#### 4. Холодні фотони.

Сонце робить один оберт навколо центру Галактики за  $T=230$  млн років, а радіус орбіти Сонця дорівнює  $R=27$  тис. св. років.

а) У припущенні, що вся маса Галактики складається з баріонної (видимої) матерії, оцініть середню густину баріонної матерії у Всесвіті. Вважайте, що всі галактики є схожими на Чумацький Шлях, а середня відстань між галактиками дорівнює  $L=3$  Мпк.

б) З дослідження первинного нуклеосинтезу відомо значення баріон-фотонного відношення:

$$\eta = \frac{n_b}{n_\gamma} = 5 \cdot 10^{-10},$$

де  $n_b, n_\gamma$  — середні концентрації баріонів та реліктових фотонів відповідно. Для реліктових фотонів також існує зв'язок між їх концентрацією та температурою:

$$n_\gamma = 16\pi \cdot \zeta(3) \left( \frac{k_B T}{hc} \right)^3$$

де  $\zeta(3) \approx 1.2$ . Використовуючи ці результати, оцініть сучасну температуру реліктового випромінювання. Використайте припущення, що вся баріонна матерія у Всесвіті складається з гідрогену H. **(10 балів)**

#### 5. Гравітаційна дисипація.

З теорії відомо, що потужність випромінювання енергії гравітаційних хвиль подвійною системою визначається з формули:

$$P = \frac{dE}{dt} = \frac{-32}{5} \frac{G^4 (m_1 m_2)^2 (m_1 + m_2)}{(cr)^5}$$

де  $r$  — поточна відстань між тілами,  $t$  — час,  $G$  — гравітаційна стала,  $c$  — швидкість світла,  $m_1$  і  $m_2$  — маси тіл подвійної системи.

а) Знайдіть закон зміни відстані між тілами від часу

б) Встановіть час, необхідний для злиття компонентів системи ( $t_{\text{злиття}}$ )

в) Покажіть, що в першому наближенні зменшення відстані між тілами внаслідок дисипації енергії на випромінювання гравітаційних хвиль можна подати формулою

$$r(t) = r_0 \left( 1 - \frac{t}{t_{\text{злиття}}} \right)^{\frac{1}{4}},$$

де  $r_0$  — початкова відстань між компонентами.

**(10 балів)**

#### Деякі параметри та фізичні сталі:

маса Сонця  $M_\odot = 1.989 \cdot 10^{30}$  кг, радіус Сонця  $R_\odot = 6.95 \cdot 10^8$  м, ефективна температура Сонця  $T_\odot = 5778$  К, велика піввісь орбіти Землі  $a_\oplus = 1$  а.о. = 149.6 млн. км, ексцентриситет  $e_\oplus = 0.0167$ .

Стала Планка  $h = 6.63 \cdot 10^{-34}$  Дж·с, стала Больцмана  $k_B = 1.38 \cdot 10^{-23}$  Дж/К, гравітаційна стала  $G = 6.67 \cdot 10^{-11}$  м<sup>3</sup>/(кг с<sup>2</sup>).