

III етап Всеукраїнської учнівської олімпіади з астрономії 2023/2024
навчального року. Харківська область.

11 клас

1. Далекий метеор (10 балів)

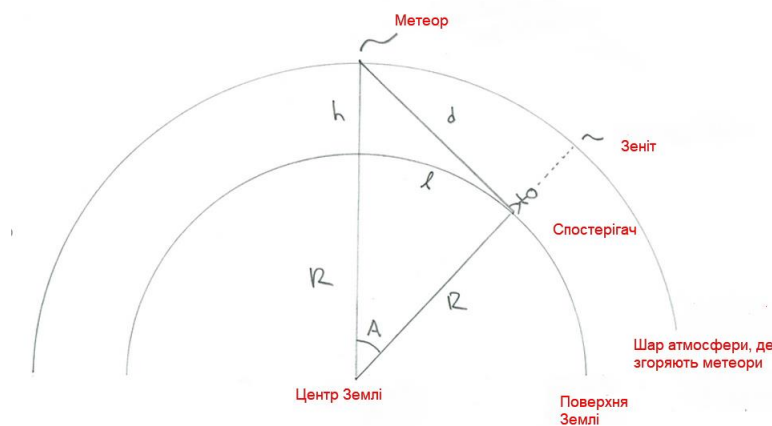
На якій максимальній відстані спостерігач з поверхні Землі може побачити політ яскравого метеора?

Розв'язок. Оскільки метеори спостерігаються у верхніх шарах атмосфери (не враховуючи великі метеороїди, що можуть випасти на поверхню у вигляді метеоритів) їх світіння виникає у межах висот 80 -100 км (2 бали). Тоді із рисунку можна оцінити (2 бали):

$$\sin(A) = \frac{d}{R+h}, d = (R+h)\sin(A); \text{ (3 бали)}$$

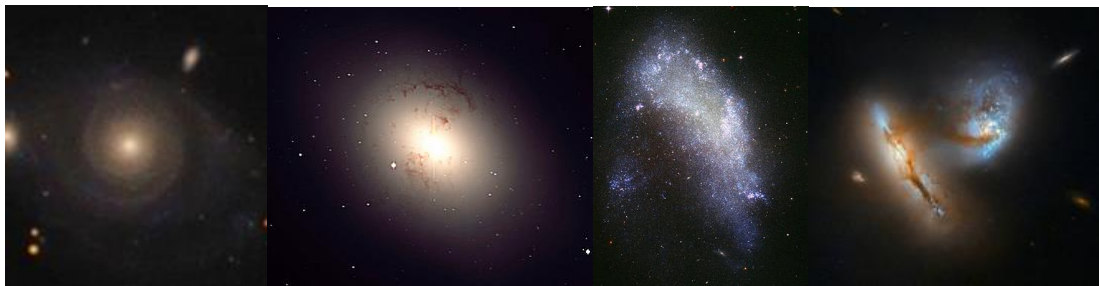
$$\cos(A) = \frac{R}{R+h}, A = \arccos\left(\frac{R}{R+h}\right) = 10^\circ; \text{ (2 бали)}$$

$$d = 1139 \text{ км (1 бал)}$$



2. Галактики (5 балів)

До яких типів належать наступні галактики:



a)

b)

c)

d)

Розв'язок.

- a) Спіральна, без перемички, Sa; (2 бали)
- b) Еліптична; (1 бал)
- c) Неправильна; (1 бал)
- d) Взаємодіючі галактики. (1 бал)

3. “Енергійні” протони (5 балів)

Після спалаху на Сонці протони долетіли до Землі і викликали магнітну бурю через 36 годин. Яку енергію вони мали? Виразіть її у електрон-вольтах.

Розв’язок. Зрозуміло, що у порівнянні зі світлом, що проходить 1 а.о. за 499 секунд, 36 годин – це значно повільніше, а отже протони не є релятивістськими і можна використовувати формули класичної механіки, а не СТВ. (1 бал)

Розрахуємо швидкість протонів.

$$36 \text{ годин} = 3600 \cdot 36 = 129600 \text{ секунд}$$

$$\text{Шлях, пройдений протонами } 149597870700 \text{ м. (1 бал)}$$

$$\text{Отже швидкість } (149597870700/129600) = 1\,154\,304.558 \text{ м/с} = 1154 \text{ км/с. (1 бал)}$$

$$\text{Маса протону } 1.67 \cdot 10^{-27} \text{ кг.}$$

$$\text{Енергія } E = \frac{mv^2}{2} = 1.11 \cdot 10^{-15} \text{ Дж (1 бал)}$$

$$\text{У еВ це буде } 6953 \text{ еВ, оскільки } 1 \text{ еВ} = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж. (1 бал)}$$

4. Білий карлик (15 балів)

Зоря масою $1.4 M_{\odot}$ стиснулась у білий карлик із радіусом у 6 000 км. Нехтуючи втратою маси через скидання оболонки оцініть середню відстань між сусідніми електронами у білому карлику. Вважайте, що білий карлик однорідний за густиною, його речовина повністю іонізована.

Розв’язок.

Виходячи із маси зорі можна розрахувати кількість протонів у ній.

$$N = \frac{M}{m_p} = \frac{1.4 \cdot 2 \cdot 10^{30}}{1.67 \cdot 10^{-27}} = 1.67 \cdot 10^{57}. \text{ (3 бали)}$$

Оскільки зоря електрично нейтральна система, то кількість електронів у ній дорівнює кількості протонів (3 бали).

Тоді об’єм білого карлику:

$$V = \frac{4}{3} \pi R^3 = 9.04 \cdot 10^{20} \text{ м}^3; \text{ (3 бали)}$$

Концентрація електронів:

$$n = \frac{N}{V} = 1.84 \cdot 10^{36} \text{ м}^{-3}; \text{ (3 бали)}$$

Середня відстань між частинками із концентрацією n складає:

$$l = 1/\sqrt[3]{n} = 8.15 \cdot 10^{-12} \text{ м. (3 бали)}$$

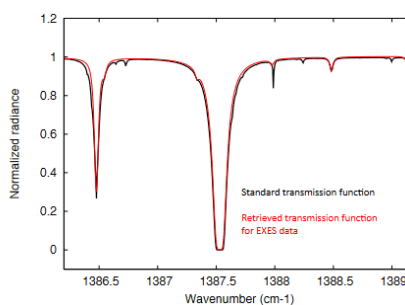
Додатково можна згадати, що насправді білі карлики складаються не із чистого водню, для якого одному протону відповідає один електрон, так як білий карлик є результатом зоряної еволюції, тобто термоядерного синтезу і він складається із

гелію або CNO. Тому на один електрон приходитьсь два нуклони (протон і нейтрон). В результаті:

$$l = 1/\sqrt[3]{0.5n} = 1.02 \cdot 10^{-11} \text{ м.}$$

5. Лінія води (15 балів)

За даними спектроскопії Марсу із літаючої ІЧ обсерваторії SOFIA 24 січня 2017 року спостерігалася лінія водяної пари на хвильовому числі $(1/\lambda)$ 1387.5 см^{-1} , ширина даної лінії 0.04 см^{-1} . У цей час швидкість Марсу відносно Землі складала $V=11.4 \text{ km/s}$. Чи можливо розділити за таких умов цю лінію, від такої самої лінії, що виникає в атмосфері Землі?



Розв'язок.

Для того, щоб мати можливість досліджувати дану лінію води у атмосфері Марсу, потрібно, щоб за рахунок ефекту Допплера зміщення марсіанської лінії перевищувало ширину самої лінії. У іншому випадку буде накладатись на марсіанську лінію лінія, що виникає у земній атмосфері. (3 бали)

Оскільки нам дані хвильові числа, перейдемо до довжини хвилі:

$$\lambda_0 = \frac{1}{1387.5} = 7.2072 \cdot 10^{-6} \text{ м. (2 бали)}$$

Тобто це ІЧ діапазон.

Далі за відомою формулою ефекту Допплера зміна довжини хвилі $\Delta\lambda$ визначається як:

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{v}{c}. \text{ (3 бали)}$$

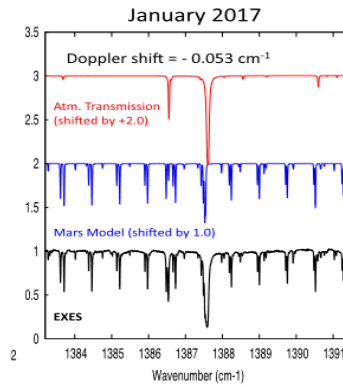
$$\Delta\lambda = 2.738 \cdot 10^{-10} \text{ м} = 0.00027 \cdot 10^{-6} \text{ м. (2 бали)}$$

Так як швидкість руху Марса відносно Землі додатна, то Марс віддаляється, а отже лінія зміститься у червоний бік. (1 бал)

Для того, щоб було можливо її спостерігати, зміщення має перемістити лінію на хвильове число $1387.5 - 0.04 = 1387.46 \text{ см}^{-1} = \lambda_1 = 7.2074 \cdot 10^{-6} \text{ м. (2 бали)}$

Бачимо що $\lambda_0 - \lambda_1$ як раз практично дорівнює $\Delta\lambda$, тобто ефект Допплера зміщує рівно на стільки марсіанську лінію, щоб вона вийшла поза центр земної лінії. (2 бали)

Нижче на рисунку басимо реальні частини ІЧ-спектрів (червона лінія – земна атмосфера, чорна - марсіанська).



6. Небезпечний астероїд? (10 балів)

Деякий астероїд має орбіту, яка лежить в площині екліптики, його синодичний період складає 618 діб та він максимально віддаляється від Сонця на 2.65 а.о. Чи може цей астероїд становити небезпеку для Землі?

Розв'язок.

За відомою формулою знаходимо сидеричний період:

$$T = \frac{S \cdot T_0}{S - T_0} = 892 \text{ доби} = 2.443 \text{ року. (3 бали)}$$

За третім законом Кеплера:

$$T^2 = a^3, \text{ якщо } T \text{ в роках, } a - \text{ в а.о. Це дає } a = 1.815 \text{ а.о. (3 бали)}$$

Велика піввісь a є середнім між максимальним та мінімальним віддаленням від Сонця, тому:

$$2a = Q + q,$$

де Q - найбільша (2.65 а.о.), а q - найменша відстань від Сонця. (2 бали)

Звідси знаходимо $q = 0.98$ а.о. (1 бал)

Це менше навіть мінімальної відстані Землі від Сонця, таким чином орбіта астероїда перетинається з орбітою Землі. Астероїд є небезпечним! (1 бал)