

III етап Всеукраїнської учнівської олімпіади з астрономії 2014/2015 навчального року. Харківська область. 10 клас.

Задача 1. (10 балів). Учніський глобус Землі виготовляють з нахиленою віссю. З чим пов'язане таке виготовлення глобусу? Який кут між віссю і горизонтальною площиною?

Розв'язок. Вісь добового обертання Землі має нахил до площини руху навколо Сонця (екліптики), тому, щоб вказати на це, макет глобусу і виготовляють з нахилом (5 балів). Кут між віссю і площиною дорівнює 67.5 град (5 балів). Кут нахилу між площиною обертання та екватором становить 23.5 град.

Задача 2. (10 балів). Якщо бути точним, треба казати, що навколо Сонця обертається не Земля, а система Земля-Місяць. Як далеко від поверхні Землі розташований центр мас цієї системи? З якою лінійною швидкістю рухається центр Землі навколо цього центру мас?

Розв'язок. Відношення мас Місяця та Землі: $7.4 \cdot 10^{22} / 6 \cdot 10^{24} = 1/81$ (3 бали). Тобто, центр Землі розташований на $1/82$ відстані від центра мас системи Земля-Місяць, а центр Місяця – на $81/82$ цієї відстані (384000 км): $384000/82 = 4680$ км (3 бали). Враховуючи, що радіус Землі дорівнює 6400 км, отримуємо, що Ц.М. знаходиться під поверхнею, на глибині $6400 \text{ км} - 4680 \text{ км} = 1720 \text{ км}$ (1 бал). Швидкість руху центра Землі відносно центра мас дорівнює довжині шляху, що його проходить центр Землі навколо центра мас, розділеної на тривалість сидеричного місяця: $2\pi \cdot 4680 \text{ км} / 27.3 \cdot 86400 \text{ с} = 12.5 \text{ м/с}$ (3 бали).

Задача 3. (10 балів). Зорі і планети виглядають для неозброєного ока як точки, але при цьому зорі мерехтять, а планети ні. Як це пояснити?

Розв'язок. Роздільна здатність людського ока приблизно $1'$, а видимі диски планет і зір менші. У планет це десятки кутових секунд, у зір – порядку $0.001''$ і менше (наприклад, кутовий розмір Сонця з середньої відстані між зорями в 10 пк дорівнює $0.001''$). Тому, усі ці об'єкти видаються нашому оку як точкові (3 бали). Однак ми їх спостерігаємо крізь земну атмосферу, елементи якої постійно знаходяться у стані турбулентного руху. Ці елементи мають різну густину і, відповідно, різний коефіцієнт заломлення (3 бала). Внаслідок цього зображення постійно дрижить з амплітудою приблизно в $1''$. Це дрижання, що значно більше видимого діаметра зір, і спричиняє ефект їхнього мерехтіння. А видимий діаметр планет більше від амплітуди дрижання, мерехтіння окремих елементів дисків планети усереднюється, і цей ефект зникає (4 бала).

Задача 4. (10 балів). Сер Ісак Ньютон народився 25 грудня 1642 року, а помер 20 березня 1727 року. Коли ми будемо відзначати 375-річчя його народження? 290-річчя смерті? Візьміть до уваги, що григоріанський календар в Англії був введений лише в 1752 р.

Розв'язок. Оскільки в часи Ньютона в Англії ще не був введений григоріанський календар, дати наведено по юліанському («старому стилю») (1 бал). У наш час григоріанський календар випереджає юліанський на 13 діб (1 бал). Різниця між календарями збільшується на 1 добу кожного сторічного року (року, в номері якого дві останні цифри – нулі) (1 бал). Але, якщо число сторіч (старші дві цифри року) діляться на 4, різниця не змінюється. Таким чином, до 1900-го року різниця складала 12 діб, до 1800-го – 11 діб, а з 1582-го (рік введення григоріанського календаря) і до 1700-го – 10 діб (3 бали). Тобто, для дати народження 25 грудня 1642-го треба додати 10 діб, отримуємо 4 січня 1643-го, а для дати смерті 20 березня 1727 – додати 11 діб, отримуємо 1 березня 1727 (3 бали). Відповідь: 375-річчя зі дня народження Ньютона наступить 4 січня 2018 г. 290-річчя з дня смерті – 31 березня 2017 р. (1 бал).

Задача 5. (15 балів). З усієї речовини Землі зробили дріт довжиною: а) до Сонця; б) до зорі α Центавра; в) до туманності Андромеди. Знайдіть діаметри цих дротів, якщо відстань до Сонця дорівнює 1 а.о., до α Центавра 1.3 пк, до туманності Андромеди $7 \cdot 10^5$ пк.

Розв'язок. Треба прирівняти об'єми кулі (Землі) та циліндра (дроту):

$$\frac{4}{3}\pi R^3 = \frac{\pi}{4} L d^2,$$

де L довжина дроту, а d - його діаметр. Звідси знаходимо, що діаметр нашого дроту дорівнює

$$d = 4\sqrt{\frac{R^3}{3L}}. \text{ (5 балів)}$$

Тепер треба знайти товщини дротів, знаючи, що 1 а. о. = $1.5 \cdot 10^8$ км, 1 пк = $2 \cdot 10^5$ а. о. (5 балів). Нарешті, обчислюємо товщину дроту. Одержимо у випадку а) 100 км; б) 200 м; в) 25 см. (5 балів)

Задача 6. (15 балів). 22 вересня 2011 р. за результатами обробки даних експерименту OPERA, проведених в лабораторії Гран-Сассо спільно з ЦЕРН, було оголошено, що швидкість нейтрино $V_{\text{нейтрино}}$ перевищує швидкість світла c :

$$(V_{\text{нейтрино}} - c)/c = (2.37 \pm 0.32) \cdot 10^{-5}.$$

Проти цього результату свідчать дані спостережень нейтрино від наднової SN 1987A у Великій Магеллановій Хмарі. Наскільки нейтринний сигнал від наднової прийшов би раніше світлового спалаху, якби результати експерименту OPERA були вірні? Вважати, що швидкість нейтрино не залежить від їх енергії. Відстань до наднової становить 51300 пк. Точний момент спалаху наднової SN 1987A невідомий, але вона спалахнула 23 лютого між 3 год. 35 хв. та 10 год. 35 хв. за всесвітнім часом. Нейтринні обсерваторії зареєстрували спалах нейтрино 23 лютого о 7 год. 35 хв. за всесвітнім часом.

Розв'язок. Можна розв'язувати двома шляхами.

1. З таблиці необхідних величин просто переводимо у метри відстань у парсеках. Або ж, навіть без таблиці, можна, знаючи визначення парсека, як одиниці відстані, що вживана в астрономії і визначається як відстань, з якої середній радіус земної

орбіти (рівний 1 а.о. = 150 млн. км), перпендикулярний променю зору, видно під кутом в одну кутову секунду (1"), знайти з прямокутного трикутника, що $1\text{пк} = 1.5 \cdot 10^{11} \text{ м/тг} (1") = 3.08 \cdot 10^{16} \text{ м}$. (5 балів). Звідси знаходимо, що відстань до наднової світло проходить за 167 тисяч років. Тоді, обрахувавши швидкість нейтрино, знаходимо час, за який вони проходять ту ж саму відстань. Далі знаходячи різницю між цими величинами отримуємо відповідь, що нейтрино випередять світло на $1.24 \cdot 10^8 \text{ с}$, що відповідає 3.96 років. (7 балів)

2. Знаючи, що 1 пк становить 3.26 світлових роки, відразу знаходимо відстань до наднової у світлових роках, що і виражає час, за який світло доходить до нас від наднової. Позначимо $\beta = (V_{\text{нейтрино}} - c)/c = 2.37 \pm 0.32 \cdot 10^{-5}$, S – відстань до наднової, а α невідому різницю між часом приходу нейтрино та світла. Тоді $T_{\text{світло}} - T_{\text{нейтрино}} = \alpha = S/c - S/V_{\text{нейтрино}} = (S/V_{\text{нейтрино}})((V_{\text{нейтрино}} - c)/c) = (S/V_{\text{нейтрино}})\beta$. Оскільки швидкість нейтрино $V_{\text{нейтрино}} = (\beta + 1)c$, підставимо її у формулу для α і отримуємо $\alpha = S\beta/(c(\beta + 1))$; де величина S/c є час, за який світло проходить відстань від наднової, виражаючи його роках та зважаючи на те, що $\beta/(\beta + 1) \approx \beta$, тому нейтрино приїде раніше за світло на $\alpha = 3.96$ роки.

Але, через похибки в значенні величини швидкості нейтрино по відношенню до швидкості світла від $2.05 \cdot 10^{-5}$ до $2.69 \cdot 10^{-5}$, нейтрино можуть прийти раніше в інтервалі від 3.4 до 4.5 років. Тобто між серпнем 1982 р. й жовтнем 1983 р. (3 бали).

Коротка історична довідка

Хоча у повідомленні про відкриття SN 1987A у Великій Магелановій Хмарі вказано, що вона виявлена 24 лютого Я. Шелтоном о 4:12 UT, точно назвати час спалаху не можна. Момент спалаху наднової SN 1987A обмежений інтервалом між самим пізнім знімком, на якому на місці наднової немає зірки яскравіше 12^m і найбільш раннім знімком, на якому вона була знайдена. Перший отриманий теж Я. Шелтоном на обсерваторії Лас Кампанас в Чилі за добу до відкриття - 23 лютого (в частках доби - лютий 23.14). Другий - отриманий Р. Мак-Нотом о 10:35 UT 23 лютого (лютий 23.44) на обсерваторії Сайдинг-Спрінгс в Австралії.

Нейтринні обсерваторії Kamiokande II, IMB і Баксан зареєстрували спалах нейтрино, що тривав менше 13 секунд, о 7:35 за всесвітнім часом 23 лютого (приблизно за 3 години до першого виявлення наднової на фотоплатівці). Причому за даними Kamiokande II було визначено напрямок, котрий з точністю до 20 градусів збігся з напрямком на ВМХ. Хоча за цей час були зареєстровані всього 24 нейтрино і антинейтрино, це істотно перевищило фон (за рахунок флуктуації фонового потоку така подія може статися раз в 100 тисяч років). Детектор IMB почав роботу в 1982 р., а Kamiokande II в кінці 1983 р., так що, принаймні, перший детектор повинен був зареєструвати цю подію, якщо б вона відбулась, чого, однак, не спостерігалось.