

# **РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ЗАДАЧ З АСТРОФІЗИЧНИМ ЗМІСТОМ – ДІЄВИЙ СПОСІБ ФОРМУВАННЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНИХ ЗНАНЬ СТУДЕНТІВ**

*Ігор* ТКАЧЕНКО, кандидат педагогічних наук, доцент Уманського  
ДПУ імені Павла Тичини

*Юрій* КРАСНОБОКИЙ, кандидат фізико-математичних наук, доцент  
Уманського ДПУ імені Павла Тичини

У системі сучасної вищої школи спостерігається помітне намагання посилити роль фундаментальних наук у процесі підготовки спеціалістів всіх профілів. Звичайно, що ця тенденція, щодо підготовки сучасного студента як діяльної, творчої особистості з високим адаптаційним потенціалом, може бути зреалізована за умови організації навчально-виховного середовища на засадах інноваційно-педагогічної діяльності. Якщо мова йде про підготовку вчителів фізики і астрономії, то однією з умов того, щоб навчальний процес був спрямований саме на розвиток особистості, його необхідно орієнтувати на практичне застосування теоретичних знань, у даному випадку – на розв'язування задач.

На нашу думку, ефективним є конструювання окремих задач з розділів загальної фізики (квантові властивості світла, теплове випромінювання) та астрофізики (елементи астрофотометрії) в інтеграційному розрізі генералізації фізичних і астрономічних знань навколо фундаментальних фізичних ідей і наукових теорій. Натомість, розв'язування таких фізичних та астрофізичних задач дає можливість:

- поглиблення, розширення і міцнішого засвоєння теоретичного матеріалу з фізики і астрономії; створення проблемних ситуацій;
- реалізацію дидактичного принципу взаємозв'язку навчання з практикою; розширення наукового світогляду студентів;

– розвиток логічного, творчого самостійного мислення; набуття досвіду оцінки меж застосовності фізичних законів і теорій за різних конкретних умов;

– набуття умінь і навичок практичного застосування наукових знань; виховання і розвиток найважливіших функцій особистості: мислення, волі, характеру;

– розвиток уміння самостійного пошуку необхідної інформації;

– навчання методам наукового пізнання;

– формування і розвиток у студентів діалектичного мислення і специфічного «фізичного» мислення; розвитку наукової інтуїції;

– розкриття естетичного та логічного в фізиці: дивної стрункості і краси, чіткості і строгості, вишуканості багатьох її рішень і прийомів [3, 4].

Водночас, включення астрономічного матеріалу у контекст навчального матеріалу з власне фізичних знань, з одного боку, і посилення доказовості результатів власне астрофізичних досліджень, з іншого боку, сприяє формуванню сучасного наукового стилю мислення суб'єктів навчання, бо дозволяє ширше, повніше і систематичніше реалізовувати принцип природовідповідності.

Нижче наведемо приклади розв'язання задач, які доцільно використовувати на практичних заняттях із загальної фізики та на лабораторно-практичних заняттях з астрофізики, які, як свідчить наш досвід, дозволяють досягти вирішення перерахованих вище завдань. У пропонуваніх задачах застосовується використання фізичних законів на прикладах розрахунків тих чи інших параметрів зоряних об'єктів, а також наводяться астрономічні перетворення у фізичних задачах. У астрономічних задачах акцентується увага на залежності візуального блиску та зоряної величини (психофізіологічний закон Вебера-Вехнера), знаходження візуальних блисків декількох компонентів кратної системи зір з врахуванням відстані до об'єкта. Фізичні задачі підбираються також з астрономічним

змістом, розв'язання яких базується на застосуванні фундаментальних фізичних законів.

Видимий блиск зір або освітленість, яку створюють зорі біля земної поверхні на площадці, розташованій нормально до променів світла, виражають зоряними величинами. Шкала зоряних величин, що прийнята в астрофізиці, є логарифмічною. Умовились вважати, що інтервалові шкали в 5 зоряних величин відповідає відношення величин блиску, що дорівнює 100. Тому знаменник геометричної прогресії, утвореної величинами блиску,

$$q = \sqrt[5]{100} = 2,515[1].$$

Позначивши через  $m_1$  і  $m_2$  видимі зоряні величини порівнюваних світил, а через  $E_{m_1}$  і  $E_{m_2}$  відповідно їх візуальні блиски, отримують залежність, що виражається формулою Погсона:

$$\frac{E_{m_1}}{E_{m_2}} = 2,512^{m_2 - m_1}; \lg \frac{E_{m_1}}{E_{m_2}} = 0,4(m_2 - m_1); \lg E = -0,4m.$$

Разом з тим, кожна зоря може мати різну видиму зоряну величину в залежності від способу її визначення: візуальну зоряну величину –  $m_v$ , фотографічну зоряну величину –  $m_{pg}$ , фотовізуальну зоряну величину –  $m_{pv}$ , фотоелектричні зоряні величини –  $V$  (жовту) та  $B$  (синю), болометричну –  $m_b$ .

Величину  $C = m_{pg} - m_v = m_{pg} - m_{pv}$  називають звичайним показником кольору.

Зазвичай, більшість зір не є поодинокі, а визначаються як об'єкти, які містять декілька компонентів. Такі зорі називають кратними.

Якщо задані візуальні блиски компонентів  $\frac{E_{m_2}}{E_{m_1}} = k$ ;  $\frac{E_{m_3}}{E_{m_1}} = n$ , то

візуальний блиск всіх компонентів виражають через блиск одного з них:

$$E_{m_2} = \frac{E_{m_1}}{k}; E_{m_3} = n \cdot E_{m_1}.$$

Не менш важливою характеристикою будь-якого світила є інтенсивність випромінювання та світність.

Світністю зорі  $L$  називається повна кількість енергії, що її випромінює зоря з усієї своєї поверхні за одиницю часу:  $L = 4\pi r^2 E_m$ , де  $r$  – відстань до цієї зорі,  $E_m$  – візуальний блиск зорі.

Інтенсивність випромінювання визначається відомими з фізики формулами:  $\lambda_{\max} = \frac{b}{T}$  (закон зміщення Віна);  $e(T) = \sigma T^4$  (енергетична світність

абсолютно чорного тіла);  $\varphi(\omega, T) = \frac{h\omega^2}{4\pi^2 c^2} \frac{1}{\exp\left(\frac{h\omega}{kT}\right) - 1}$ , де  $h = \frac{h}{2\pi}$ ;  $\omega = 2\pi\nu$

(формула Планка).

### Приклади розв'язування типових задач

1. У скільки разів зоря Арктур ( $\alpha$  Волопаса) яскравіша від зір  $\alpha$  Андромеди та  $\eta$  Діви, якщо зоряна величина Арктура становить  $+0,^m24$ , а візуальний блиск інших зір відповідно дорівнює  $+2,^m15$  і  $+4,^m00$  [2] ?

Дано:

$$m_1 = +0,^m24;$$

$$m_2 = +2,^m15;$$

$$m_3 = +4,^m00;$$

$$\frac{E_{m_1}}{E_{m_2}} = ?;$$

$$\frac{E_{m_1}}{E_{m_3}} = ?$$

*Розв'язання.*

За формулою Погсона знаходимо

$$\frac{E_{m_1}}{E_{m_2}} = 2,512^{2,15-0,24} = 2,512^{1,91}, \text{ звідки}$$

$$\lg \frac{E_{m_1}}{E_{m_2}} = 0,4 \cdot 1,91 = 0,764; \frac{E_{m_1}}{E_{m_2}} = 10^{0,764} = 5,8.$$

$$\text{Аналогічно } \frac{E_{m_1}}{E_{m_3}} = 2,512^{4,00-0,24} = 2,512^{3,76}; \frac{E_{m_1}}{E_{m_3}} = 10^{1,504} = 31,9.$$

Відповідь: блиск Арктура більший за блиск Андромеди у 5,8 рази, а за блиск Діви у 31,9 рази.

2. Скільки зір нульової видимої зоряної величини потрібно для створення такого візуального блиску, який дають 26700 зір восьмої зоряної величини ?

Дано:

$$m_1 = 8,^m00;$$

$$n = 26700;$$

*Розв'язання.*

$m_n$  – сумарна зоряна величина 26700 зір.

$E_n$  – сумарний візуальний блиск, що створюють 26700 зір

$$m_2 = 0,^m00;$$

$$n_1 = ?$$

восьмої зоряної величини, тому  $E_n = 26700 \cdot E_{m_8}$ .

$$m_n = m_1 - 2,512 \lg \frac{E_n}{E} = m_1 - 2,512 \lg n$$

$m_n = 8,^m00 - 2,512 \lg 26700 = -3^m$ ; (сумарна зоряна величина 26700 зір чисельно дорівнює візуальному блиску, що створює кількість  $n_1$  зір нульової видимої зоряної величини). Тому,  $2,512 \lg n_1 = m_2 - m_n$ ;  $\lg n_1 = \frac{0 - (-3^m)}{2,512} = 1,2$ .

$$\text{Звідки } n_1 = 10^{1,2} = 15,848 \approx 16.$$

Відповідь: 16 зір нульової видимої зоряної величини.

3. Фотографічний блиск зорі Проціона ( $\alpha$  Малого Пса) становить  $+0,^m88$ , а звичайний показник кольору  $+0,^m40$ . Знайти візуальний блиск цієї зорі за умови збільшення її відстані від Землі в 5 і 10 разів та за умови зменшення її відстані в 3 й 6 разів.

Дано:

$$m_{pg} = +0,^m88;$$

$$C = 0,^m40;$$

$$m_1 = ?; m_2 = ?;$$

$$m_3 = ?; m_4 = ?.$$

*Розв'язання.*

$$C = m_{pg} - m_v = m_{pg} - m_{pv} - \text{показник кольору.}$$

$$m_{pv} = m_{pg} - C = 0,^m88 - 0,^m40 = 0,^m48.$$

Блиск кожної зорі обернено пропорційний квадрату відстані до спостерігача:  $\frac{Em_0}{Em_1} = \frac{r_1^2}{r_0^2}$ .

За умовою задачі  $r_1 = 5^2 = 25$ , підставляючи у формулу Погсона це значення  $r_1$ , отримуємо:  $\lg 25 = 0,4 \cdot m_1 -$

$$0,4 \cdot 0,^m48, \text{ звідси } m_1 = \frac{\lg 25 + 0,192^m}{0,4} = 3,^m98.$$

$$\text{Аналогічно, } r_2 = 10^2 = 100, r_3 = \frac{1}{9}, r_4 = \frac{1}{36}.$$

$$m_2 = \frac{\lg 100 + 0,192^m}{0,4} = 5,^m48$$

$$m_3 = \frac{\left( \lg \frac{1}{9} + 0,192^m \right)}{0,4} = -1,^m9.$$

$$m_4 = \frac{\left( \lg \frac{1}{36} + 0,192^m \right)}{0,4} = -3,^m41.$$

Відповідь:  $m_1 = 3,^m98$ ;  $m_2 = 5,^m48$ ;  $m_3 = -1,^m9$ ;  $m_4 = -3,^m41$ .

4. Знайти блиск потрійної зорі, якщо перший її компонент яскравіший від другого в 3,6 рази, а третій – слабкіший від другого в 4,2 рази та має візуальний блиск  $4,^m36$  ?

Дано:

$$\frac{E_{m_1}}{E_{m_2}} = 3,6$$

$$\frac{E_{m_2}}{E_{m_3}} = 4,2$$

$$m_3 = 4,^m36;$$

$m - ?$

*Розв'язання.*

$$\lg E_m = -0,4m;$$

$$E_{m_1} = E_{m_2} \cdot 3,6; \quad E_{m_2} = E_{m_3} \cdot 4,2;$$

$$\lg \frac{E_{m_2}}{E_{m_3}} = 0,4(m_3 - m_2) = 0,6232; \quad m_2 = \frac{0,4m_3 - 0,6232}{0,4} = 2,^m8;$$

$$\lg \frac{E_{m_1}}{E_{m_2}} = 0,4(m_2 - m_1) = 0,5563; \quad m_1 = \frac{0,4m_2 - 0,5563}{0,4} = 1,^m4;$$

$$\lg E_{m_3} = -0,4m_3; \quad E_{m_3} = 10^{-0,4 \cdot 4,36} = 10^{-1,744} = 0,01803;$$

$$\lg E_{m_2} = -0,4m_2; \quad E_{m_2} = 10^{-0,4 \cdot 2,8} = 10^{-1,12} = 0,07586;$$

$$\lg E_{m_1} = -0,4m_1; \quad E_{m_1} = 10^{-0,4 \cdot 1,4} = 10^{-0,56} = 0,2730;$$

$$\sum E_m = 0,01803 + 0,07586 + 0,2730 = 0,36696;$$

$$\text{Звідси } m = \frac{\lg 0,36696}{-0,4} = 1,^m088.$$

Відповідь:  $m = 1,^m088$ .

5. Максимум випромінювальної здатності яскравої зірки Арктур припадає на довжину хвилі  $\lambda_{\max} = 580 \text{ нм}$ . Вважаючи, що зірка випромінює як абсолютно чорне тіло, визначити температуру поверхні зірки.

Дано:

$$\lambda_{\max} = 580 \text{ нм}$$

$T - ?$

*Розв'язання.*

Скористаємося законом Віна, згідно з яким довжина хвилі, що відповідає максимальному значенню випромінювальної здатності абсолютно чорного тіла, обернено пропорційна його абсолютній температурі:

$$\lambda_{\max} = \frac{b}{T}, \text{ де } b = 0,002896 \text{ м} \cdot \text{К} - \text{ стала Віна. З виразу закону}$$

$$\text{Віна знайдемо: } T = \frac{b}{\lambda_{\max}} = \frac{0,002896}{580 \cdot 10^{-9}} = 5000 \text{ (K)}.$$

Відповідь:  $T = 5000 \text{ K}$ .

6. Дослідження спектра випромінювання Сонця показало, що його максимальна випромінювальна здатність припадає на довжину хвилі  $\lambda_{\max} = 500 \text{ нм}$ . Вважаючи Сонце абсолютно чорним тілом, визначити: повну випромінювальну здатність (енергетичну світність)  $e(T)$  Сонця; потік енергії  $\Phi$ , випромінюваний Сонцем; еквівалентну масу випромінювання за  $1 \text{ с}$ .

Дано:	<i>Розв'язання.</i>
$\lambda_{\max} = 500 \text{ нм}$	Згідно із законом Стефана-Больцмана повна випромінювальна здатність абсолютно чорного тіла дорівнює $e(T) = \sigma T^4$ , де $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{Äæ}}{\text{ì}^2 \cdot \tilde{n} \cdot \hat{E}^4}$ – стала Стефана-Больцмана.
$t = 1 \text{ с}$	
$e(T) - ?$	
$\Phi - ?$	
$m - ?$	

Температуру Сонця визначимо за законом Віна:  $\lambda_{\max} = \frac{b}{\hat{O}}$ .

$$\text{Звідки } T = \frac{b}{\lambda_{\max}} = \frac{0,002896}{500 \cdot 10^{-9}} = 5800 \text{ (K)}.$$

Підставивши знайдене значення  $T$  в закон Стефана-Больцмана, дістанемо:  $e(T) = 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 5800^4 = 6,42 \cdot 10^7 \frac{\text{Äæ}}{\text{ì}^2 \cdot \tilde{n}}$ .

Потік енергії, яку випромінює Сонце, дорівнює добутку  $e(T)$  Сонця на площу  $S$  його поверхні:  $\Phi = e(T) 4 \pi R_c^2$ .

Підставивши числові значення, отримаємо:  $\Phi = 6,42 \cdot 10^7 \cdot 4\pi (6,95 \cdot 10^8)^2 = 3,9 \cdot 10^{26} \text{ (Вт)}$ .

Еквівалентну масу випромінювання Сонця за  $1 \text{ с}$  знайдемо із співвідношення між масою та енергією:  $E = mc^2$ , звідки

$$m = \frac{E}{c^2} = \frac{\hat{O}t}{c^2} = \frac{3,9 \cdot 10^{26}}{(\hat{O} \cdot 10^8)^2} \approx 4 \cdot 10^9 \text{ (кг)} = 4 \cdot 10^6 \text{ (м)}.$$

$$\text{Відповідь: } e(T) = 64,2 \frac{\hat{A}\delta}{\hat{i}^2}; \Phi = 3,9 \cdot 10^{26} \text{ Вт}; m = 4 \cdot 10^6 \text{ т.}$$

7. Густина потоку енергії сонячних променів при нормальному падінні на земну поверхню (сонячна стала)  $q = 1,4 \cdot 10^3 \left( \frac{\hat{A}\delta}{\hat{i}^2} \right)$ .

1. Визначити потік енергії сонячних променів, який отримує вся поверхня Землі.

2. Яку частину цей потік складає від всього потоку енергії світлового випромінювання Сонця ?

3. Яка планета отримує від Сонця більше енергії – Земля чи Юпітер ? Радіус Землі  $R_1 = 6,4 \cdot 10^6$  м; радіус Юпітера  $R_2$  в 11,14 рази більший від радіуса Землі; відстань від Землі до Сонця  $l_1 = 1,5 \cdot 10^{11}$  м; відстань від Юпітера до Сонця  $l_2$  у 5,2 рази більша.

Дано:

$$q = 1,4 \cdot 10^3 \left( \frac{\hat{A}\delta}{\hat{i}^2} \right);$$

$$R_3 = R_1 = 6,4 \cdot 10^6 \text{ м};$$

$$R_{\text{ю}} = R_2 = 11,14 R_1;$$

$$l_1 = 1,5 \cdot 10^{11} \text{ м};$$

$$l_2 = 5,2 \cdot l_1;$$

$$E_1 - ? \quad \frac{E_1}{E} - ? \quad \frac{E_1}{E_2} - ?$$

*Розв'язання.*

1. Потік енергії сонячних променів, що падають на Землю,  $E_1 = \pi R_1^2 q \approx 10^{22} \text{ Вт}$ , де  $\pi \cdot R_1^2$  – площа поперечного перерізу Землі.

2. Відношення цього потоку до всього потоку енергії світлового випромінювання Сонця складає  $\frac{E_1}{E} = \frac{\omega_1}{4\pi} = \frac{R_1^2}{4l_1^2} \approx 0,5 \cdot 10^{-9}$ , де  $\omega_1$  – тілесний кут, під яким видно Землю із Сонця.

3. Відношення потоків енергії, які отримують Земля і Юпітер, дорівнює:  $\frac{E_1}{E_2} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{R_1^2}{R_2^2} \cdot \frac{l_1^2}{l_2^2} \approx 0,22$ , де  $\omega_2$  – тілесний кут, під яким видно Юпітер із Сонця.

Практика підтверджує, що, оволодіння методами і прийомами розв'язання таких астрофізичних задач дає змогу підвищити ступінь засвоєння студентами теоретичних положень сучасної фізики на



астрономічному матеріалі (і навпаки), істотно впливає на ступінь сформованості високої внутрішньої та зовнішньої мотивації здобуття знань, значно посилює доказовість результатів власне астрофізичних досліджень, що сприяє формуванню сучасного наукового стилю мислення студентів та підвищує їх інтерес до циклу фундаментальних наук.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Бойко Г.М., Грищенко Г.О. Курс астрономії. Лабораторний практикум з практичної астрофізики: Навчальний посібник для вищих навчальних закладів. – К.: НПУ імені М.П. Драгоманова, 2009. – 208 с.: іл.

2. Дагаев М.М. Сборник задач по астрономии. Учеб.пособие для студентов физ.-мат. фак. пед. ин-тов. – М.: Просвещение, 1980. – 128 с., ил.

3. Краснобокий Ю.М. Розв'язування задач з фізики (Квантова фізика. Фізика атома та атомного ядра.) / Ю.М. Краснобокий, П.П. Товбушенко, М.М. Яровий. – Умань: СПД Жовтий, 2008. – 132 с.

4. Ткаченко І.А. Геометричний спосіб розв'язування задач із сферичної астрономії // Фізика та астрономія в школі. –2006. –№5. – С. 25 – 28.

## Відомості про авторів:

Ткаченко Ігор Анатолійович – кандидат педагогічних наук, доцент кафедри фізики і астрономії та методики їх викладання УДПУ імені Павла Тичини.

м. Умань, вул. Тищика 11, кв. 78. Тел. 0952732215

Краснобокий Юрій Миколайович – кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри фізики і астрономії та методики їх викладання УДПУ імені Павла Тичини.

м. Умань, вул. Жовтневої революції 57, кв. 3. Тел. 044 23544