

УДК 373.5.091.3:52

**Панчук А.Б., Белошапка О.Я.**<sup>1</sup> здобувачка другого (магістерського) РВО за ОП «Середня освіта (Фізика)», фізико-математичний факультет ДВНЗ «ДДПУ»e-mail: [dlaigruroman@gmail.com](mailto:dlaigruroman@gmail.com),

ORCID 0009-0003-2403-6905

<sup>2</sup> старший викладач кафедри фізики, ДВНЗ «ДДПУ»e-mail: [Beregslav2015@gmail.com](mailto:Beregslav2015@gmail.com),

ORCID 0000-0001-7448-3832

## МЕТОДИ РОЗВ'ЯЗУВАННЯ АСТРОФІЗИЧНИХ ЗАДАЧ У ШКІЛЬНОМУ КУРСІ ФІЗИКИ

Стаття присвячена аналізу методів розв'язання астрофізичних задач у шкільному курсі фізики. У роботі розглядаються різні типи астрофізичних задач і методи їх вирішення

**Ключові слова:** астрофізика, астрономічні задачі, методи і прийоми, аналітичний метод, синтетичний метод, критичне мислення.

DOI: <https://doi.org/...>

### Вступ

*Постановка проблеми.* Сучасна наука ставить перед собою завдання розуміння та пояснення складних явищ у всесвіті. Однією з найзахоплюючих галузей цієї науки є астрономія, яка вивчає фізичні процеси у космосі та їх взаємозв'язки зі структурою та розвитком всесвіту. Астрономія завжди займала особливе місце серед природничих наук, викликаючи інтерес та захоплення своєю масштабністю і таємничістю. У сучасному світі, коли розвиток науки і техніки набуває небачених раніше темпів, значення астрономії та астрофізики зростає ще більше. Важливим завданням шкільної освіти є не лише надання базових знань, але й розвиток критичного мислення та здатності до наукового аналізу. Астрофізика, як розділ фізики, який досліджує фізичні явища і процеси у Всесвіті, є надзвичайно ефективним засобом для досягнення цих цілей. Розв'язування задач на уроках відіграє важливу роль у формуванні астрономічних понять, забезпеченні якісного засвоєння теоретичного матеріалу, його практичного застосування. Однак, навчання астрофізики у школі може стикатися з викликами, такими як складність матеріалу та нестача методичних підходів для розв'язання астрофізичних задач.

Наразі ситуація з астрономією в школі покращилась, хоча головна проблема при вивченні цього курсу залишається – астрономія не є окремим предметом, а лише включається як елемент у програму фізики для старших класів.

**Метою** статті є аналіз методів розв'язування астрофізичних задач у шкільному курсі фізики. У рамках дослідження будуть розглянуті різні підходи до навчання, приклади задач. Підвищення ефективності навчання та розвитку у учнів критичного мислення і навичок наукового аналізу.

## Основна частина

Необхідно зазначити, що поняття задачі як такої і конкретно навчальної задачі в різній науково-педагогічній літературі трактують по різному і дуже широко.

Фізична задача – це конкретна проблема, яка вирішується шляхом логічних висновків, математичних обчислень та експериментів, заснованих на законах фізики.

Астрономічна задача – змодельована проблема, що спирається на астрономічну інформацію, яку розв'язують шляхом несуперечливих логічних міркувань і математичних дій із використанням законів фізики та астрономії.

Вирішення астрономічних задач є невід'ємною частиною навчального процесу, оскільки дозволяє формувати та збагачувати астрономічні уявлення, розвиває критичне мислення учнів, їх навички застосування знань. У процесі вирішення завдань формується вміння аналізувати явища, узагальнювати інформацію про них, самостійність у судженнях, виховується інтерес до навчання, знаходити рішення в нестандартних умовах тощо.

Для формування навичок розв'язування астрономічних задач у учнів доцільно використовувати методи і прийоми, що забезпечують усвідомлене застосування теоретичних знань, опору на фізичні закони та математичний апарат. Різноманітні підходи до розв'язування астрофізичних задач включають використання як теоретичних, так і практичних методів для вивчення та розуміння фізичних процесів у Всесвіті.

Деякі методи з розв'язання можуть включати у себе такі, як:

1. Математичні моделі – у такому методі використовують математичні рівняння та моделі щоб описати будь яке фізичне або астрономічне явище.
2. Емпіричні спостереження – у цьому методі доцільно використовувати експерименти та спостереження космічних об'єктів для виявлення експериментальних даних.
3. Обчислювальне моделювання – у цьому методі доцільно використовувати комп'ютерні симуляції та програми для моделювання віртуальних астрофізичних моделей, наприклад, взаємодію між чорними дірами.
4. Астрономічні спостереження – це практичний метод який використовують наземні та космічні обсерваторії для спостереження астрономічних об'єктів.

Методи можна використовувати як окремо так і поєднувати між собою для розв'язання різних астрофізичних задач.

Якщо класифікувати самі задачі можна виділити основні класифікації задач: за дидактичною метою, за способом подання умови, підвищеної складності, за вимогою, за способом розв'язування.

Різного типу задачі можна розв'язати окремим підходом, або поєднати підходи між собою. Їх поділити на:

1. *Аналітичний* – за допомогою такого підходу задачу розкладають на декілька простих задач, одразу з'ясовується, що необхідно знайти за умовою і після аналізу умови складається закономірність що зв'яже невідоме з відомою інформацією. Якщо в цій закономірності відсутнє шукане значення, то необхідно знайти додаткові закономірності. Логічну послідовність дій розв'язку одержують шляхом поєднання окремих знайдених закономірностей.

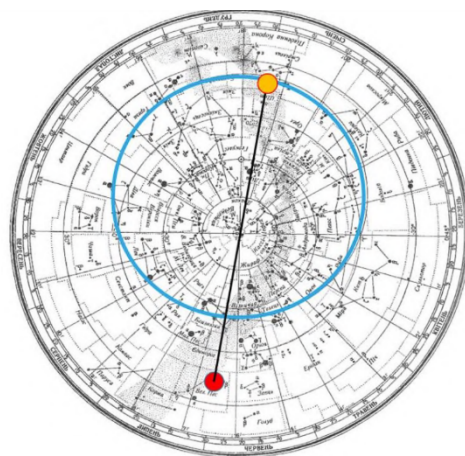
2. *Синтетичний* – у цьому підході розв'язок задачі знаходять за допомогою послідовного встановлення зав'язків між відомими величинами, яке задано в умові, до тих пір, поки не буде визначено величину, яку й потрібно знайти за умовою задачі.

Але найчастіше для розв'язку астрономічних задач ці два підходи зручно поєднувати між собою.

Значно підвищує рівень вмінь розв'язувати астрономічні задачі допомагає візуалізація задач та використання прикладних задач. Візуалізація розв'язків астрономічних задач сприяє усвідомленому засвоєнню навчального матеріалу, розвитку уяви, абстрактного та логічного мислення учнів.

Приклад розв'язування задач із використанням рухомої карти зоряного неба: Опівночі спостерігалася кульмінація зорі Сіріус. В яку пору року це відбувалося? В якому приблизно сузір'ї знаходилося Сонце в цей час?

Необхідно знайти дану зорю на рухомій карті зоряного неба (рис. 1), провести лінію, що сполучає розташування зорі і Північного полюса світу. Перетин даної лінії з екліптикою з протилежної сторони від зорі відносно Полюса світу покаже на розташування Сонця в даний час.



**Рис. 1:** рухома карта зоряного неба

Як видно з рисунка, Сонце перебувало в сузір'ї Стрільця.

*Приклади розв'язування типових задач:*

1. Дослідження спектра випромінювання Сонця показало, що його максимальна випромінювальна здатність припадає на довжину хвилі  $\lambda_{\max} = 500$  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 с.

*Розв'язання.*

Згідно із законом Стефана-Больцмана повна випромінювальна здатність абсолютно чорного тіла дорівнює

$$e(T) = \sigma T^4,$$

де  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$  – стала Стефана-Больцмана.

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

Звідки:

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

Підставивши знайдене значення в закон Стефана-Больцмана, дістанемо:

$$e(T) = 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 5800^4 = 6,42 \cdot 10^7.$$

Потік енергії, яку випромінює Сонце, дорівнює добутку  $e(T)$  Сонця на площу  $S$  його поверхні:

$$\Phi = e(T) \cdot 4\pi R_c^2.$$

Підставимо числові значення:

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

Еквівалентну масу випромінювання Сонця за 1 с знайдемо із співвідношення між масою та енергією:

$$E = mc^2.$$

Звідки:

$$m = \frac{E}{c^2} = \frac{3,9 \cdot 10^{26}}{(3 \cdot 10^8)^2} = 4 \cdot 10^6 \text{ T}.$$

*Відповідь:*

$$m = 4 \cdot 10^6 \text{ T}, \Phi = 3,9 \cdot 10^{26} \text{ (Вт)}, e(T) = 6,42 \cdot 10^7.$$

2. Колапс зорі. В надрах зір з масою  $M > 10 - 12 M_{\text{sun}}$ , відбувається термоядерний синтез елементів аж до утворення елементів залізного піку (Fe, Co, Ni). Ядро зорі з цих елементів масою  $M_{\text{я}} = 1,5 - 2 M_{\text{sun}}$  зазнає ряд нестійкостей і колапсує у нейтронну зорю (цей процес, як правило, супроводжується спалахом наднової II типу). Оцініть:

- характерний час колапсу;
- енергію, яка вивільняється при цьому та порівняйте її з енергією, що була виділена Сонцем за весь час його існування;
- потенційно можливу потужність (світність) цього процесу.

Вказівка: вважайте, що народжена нейтронна зоря має радіус  $R \sim 10$  км, а щільність залізного ядра надгіганта  $\rho \sim 10^9$  кг/м<sup>3</sup>.

## Розв'язання.

а) Гравітаційний колапс відбувається у так званій динамічній (гідродинамічній) шкалі часу. Цей час можна отримати, якщо розглянути падіння довільної частинки (наприклад, протона) з поверхні ядра зорі до її центру і вважати, що цей рух відбувається по дузі дуже витягнутого еліпсу з фокусом у центрі зорі. Велика піввісь цього еліпсу, очевидно, дорівнює  $a = 0,5R_{\text{я}}$ .

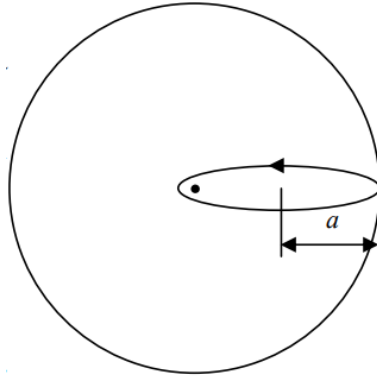


Рис. 2: до задачі 2.

Шуканий час – це половина періоду обертання по еліпсу  $t_d = \frac{T}{2}$ .

Вважаючи, що маса зорі зосереджена в її центрі та застосовуючи третій закон Кеплера, дістаємо (враховуючи малість нейтронної зорі порівняно з розмірами ядра надгіганта)

$$t_d = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{R_{\text{я}}^3}{2GM_{\text{я}}}} = \sqrt{\frac{3\pi}{32G\rho_{\text{я}}}} \approx 2c.$$

б) Виділення енергії відбувається за рахунок зміни власної гравітаційної енергії, тому

$$\Delta W = \left| -\frac{GM_{\text{я}}^2}{R_{\text{НВ}}} - \left( -\frac{GM_{\text{я}}^2}{R_{\text{НВ}}} \right) \right|$$

оскільки  $R_{\text{я}} \gg R_{\text{НВ}}$ , де  $R_{\text{НВ}}$  – радіус нейтронної зорі. За розрахунками для  $M_{\text{я}} = 1.5M_{\text{sun}}$

$$\Delta W = 6 \cdot 10^{46} \text{ Дж.}$$

Енергія, яку виділило Сонце за весь час свого існування (припускаючи сталість  $L_{\text{sun}}$  і час життя  $5 \cdot 10^9$  років, становить  $\Delta W = 6 \cdot 10^{43}$  Дж, що у 1000 разів менше.

в) Енергія, що вивільняється за одиницю часу під час гравітаційного колапсу дорівнює  $L \approx \frac{\Delta W}{t_d} = 3 \cdot 10^{46} \text{ Дж/с} \sim 10^{20} L_{\text{sun}}$ . Це майже на 8 порядків більше, ніж випромінює Туманність Андромеди. Проте більшу частину цієї енергії уносять нейтрино.

## Висновки

Астрономічні задачі являються важливою частиною уроків з астрономії для якісного засвоєння матеріалу. Практика показує, що оволодіння методами та прийомами розв'язування астрофізичних задач дозволяє підвищити рівень засвоєння учнями теоретичних положень на основі астрономічного матеріалу. Активне використання астрофізичних задач сприяє глибшому розумінню фізичних принципів, підвищує зацікавленість учнів у науці та розвиває їхні аналітичні навички.

Наразі оволодіння методами і прийомами розв'язування задач є актуальним як для учнів так і для вчителів. Вчителі, які використовують новітні методи розв'язування задач, постійно вдосконалюють свої професійні навички. Вони можуть інтегрувати нові технології та методики у навчальний процес, що сприяє їх професійному розвитку. Застосування різних методів розв'язування задач дозволяє вчителям краще адаптувати навчання до потреб і рівня підготовки кожного учня. Це допомагає забезпечити більш ефективне та індивідуалізоване навчання.

Використання методів розв'язування задач з астрофізики готує учнів до реальних наукових досліджень, розвиває їхні навички роботи з даними та моделювання фізичних явищ. Це особливо важливо для тих, хто планує продовжити навчання в галузі природничих наук. Залучення до вирішення цікавих та складних астрофізичних задач підвищує інтерес учнів до фізики та науки загалом. Вони бачать практичне застосування своїх знань і розуміють, як наука може пояснювати явища, що відбуваються у Всесвіті.

Використання сучасних технологій та програмного забезпечення для розв'язування астрофізичних задач допомагає учням розвинути технічні навички, які будуть корисними у їхньому подальшому навчанні та професійній діяльності.

Отже важливість задач на уроках астрономії не можна переоцінити. Вони не тільки допомагають учням застосовувати теоретичні знання на практиці, але й сприяють формуванню критичного мислення та навичок наукового аналізу. Використання різних методів і прийомів дозволяє зробити навчальний процес більш цікавим і ефективним.

## Література

1. Ліскович О.В. Формування в учнів навичок розв'язування астрономічних задач (із досвіду роботи Горбунова С. В., учителя фізики та астрономії Миколаївського морського ліцею імені професора М. Александрова Миколаївської міської ради, учителя методиста). Миколаїв : ОППО, 2021. 40 с.
2. Арнаутова О.В., Карпуша В.М., Пасько О.О., Ткаченко Ю.А., Таранова Т.Ю., Шевченко І.О. Окремі методи розв'язування олімпіадних задач з астрономії: збірник методичних матеріалів. Суми: НВВ КЗ СОІППО, 2019. 40 с.

3. Н. Karttunen, P. Kröger, H. Oja, M. Poutanen and K.J. Donner, *Fundamental Astronomy*, Springer-Verlag (1984).
4. A.R. Choudhuri, *Astrophysics for Physicists*, Cambridge (2010).
5. Дагаєв М.М. Збірник завдань з астрономії. Навчальний посібник для студентів фіз.-мат. фак. пед. ін-тов. М.: Просвітництво, 1980. 128 с.
6. Ткаченко І.А., Краснобокий Ю.М. Розв'язування задач з астрофізичним змістом – дієвий спосіб формування фундаментальних знань студентів. *Фізика та астрономія в школі*. 2012. № 5 (100). С. 13–17.
7. Сурдин В.Г. *Астрономические задачи с решениями: Учебное пособие*. М.: Едиториал УРСС, 2002. 240 с.

---

**Anastasiia B. Panchuk, Oleksandr Ya. Beloshapka**

Donbas State Pedagogical University, Sloviansk, Ukraine.

**Methods of solving astrophysical problems in the school physics course**

The paper discusses different approaches to teaching astrophysics, their advantages and disadvantages. The use of these methods helps to improve the quality of learning, develop critical thinking, analytical and technical skills of students, as well as their motivation and interest in science. It allows teachers to make physics lessons more visual and interactive, as well as to provide individualized learning adapted to the needs of each student.

The work also emphasizes the importance of developing students' ability to formulate problems correctly, build mathematical models, perform calculations, and analyze results.

**Keywords:** *astrophysics, astronomical problems, methods and techniques, analytical method, synthetic method, critical thinking.*

---