



Annals of Science and Education

No.2. (22), July-December, 2015

VOLUME V

“UCL Press”

2015

Sergey Kuzmenkov,

*Kherson State University, Associated Professor,
Doctor of Pedagogic Sciences, the Faculty of Physics,
Mathematics and Informatics*

Astrophysical proof exercises as formation method of world view qualities of future specialists

Abstract: This article is devoted to form the world view qualities of students by doing proof exercises. This article provides examples of solutions for such exercises with astrophysical content, which tend to form scientific world view and integral modern astrophysical world view.

Keywords: scientific world view, astrophysical proof exercises, axial and orbital motion of Earth, reflection of sunlight by planets, ideal gas in stars, sources of star energy, radioactive decay.

*Сергій Кузьменков, Херсонський державний університет,
доцент, доктор педагогічних наук, факультет фізики,
математики та інформатики*

Розв'язування астрофізичних задач на доведення як спосіб формування світоглядних якостей майбутніх фахівців

Анотація: У статті пропонується формувати світоглядні якості студентів шляхом розв'язування задач на доведення. Наведено приклади розв'язання таких задач з астрофізичним змістом, спрямованих на формування наукового світогляду і цілісної сучасної астрофізичної картини світу.

Ключові слова: науковий світогляд, астрофізичні задачі на доведення, осьовий і орбітальний рух Землі, відбивання сонячного світла планетами, ідеальний газ всередині зір, джерела енергії зір, радіоактивний розпад.

Досвід роботи автора зі студентами старших курсів і вчителями на курсах підвищення кваліфікації свідчить про те, що переважна більшість з них часто не спроможна відокремити істину від псевдонауки. Для них характерне некритичне ставлення до змісту надрукованого в пресі або побаченого по телевізору. На жаль, сучасна система освіти не прищеплює критичного, вдумливого ставлення до інформації. Звідси й значне поширення, у тому числі й серед осіб з вищою педагогічною освітою, різноманітних езотеричних, містичних та астрологічних теорій.

Сучасне навчальне пізнання стерильне від багатьох форм розумових операцій, що властиві науковому пізнанню. Воно зводиться в основному до запам'ятовування готових істин. Учні і студентів не вчать задавати собі запитань: «Чому?», «Чому так, а не інакше?», «Що б сталося, якби?» і доказово, з розрахунками та оцінками відповідати на них.

Ми вже вказували на таку особливість навчального предмету «астрономія», як складність доведень деяких положень астрономічної науки [1]. Якщо теорії у фізиці перевіряються експериментом, то в астрономії – спостереженнями. Але певні області простору й часу, наприклад, центр нашої Галактики в оптичному діапазоні, момент Великого Вибуху, надра планет, зір недоступні навіть для спостережень. Тоді у допитливого студента (учня) виникають запитання типу: «А хто *там* був і все це бачив?» Принагідно зазначимо, що подібні запитання щодо різних астрономічних явищ спонукали відомого російського астронома В.Г. Курта наприкінці ХХ ст. написати статтю: «Чи правильно астрономи уявляють собі світ?» [2].

Застосовуючи діалектико-матеріалістичний підхід до розуміння природи, який, на нашу думку, має бути притаманним світській освіті, під світоглядними якостями особистості будемо вважати наявність у неї: 1) системи узагальнених, таких, що мають філософське звучання, знань про Всесвіт та його пізнання людиною; 2) поглядів і переконань, що відповідають діалектико-матеріалістичному розумінню природи та процесу її пізнання; 3) діалектичного мислення, головною ознакою якого є здатність мислити конструктивно за наявності суперечностей.

Формуванню наукового стилю мислення й діяльності, наукового світогляду сприяють, на нашу думку, *задачі на доведення*. Вони також формують узагальнене вміння доводити в умовах, коли результат не можна перевірити

наочним експериментом. Принагідно зазначимо, що в астрономії є окремі випадки, коли такі експерименти можна запропонувати (наприклад, експерименти, що доводять обертання Землі навколо своєї осі), проте їх зовсім небагато.

Розглянемо кілька задач, які ми зазвичай пропонуємо нашим студентам.

Задача 1. *Ви – вчитель фізики і астрономії початку третього тисячоліття нашої ери. Наведіть якомога більше доказів обертання Землі:*

- а) навколо своєї осі;*
- б) навколо Сонця [3].*

Дивовижно, але студенти-фізики навіть старших курсів часто не можуть навести жодного доказу осьового і орбітального руху Землі. В кращому випадку згадують зміну сезонів року і маятник Фуко, про який мають туманні уявлення. Щодо сезонів року, то їхня зміна не може слугувати доказом обертання Землі навколо Сонця, оскільки спричинена виключно нахилом осі обертання Землі до площини її орбіти. Не будь цього нахилу, обертання навколо Сонця не призводило б до жодних кліматичних змін впродовж року, клімат визначався б передусім залежністю місця спостереження від географічної широти. Нагадаємо, що майже півтори тисячі років (з часів Клавдія Птолемея – автора геоцентричної системи світу) людство не пов'язувало зміну сезонів року з рухом Землі навколо Сонця.

Зазначимо, що насправді ці знання, вміння обґрунтувати свої погляди є відображенням світогляду людини («ми є в центрі світу чи ні?»), демонструють особистісний рівень сформованості цілісної наукової картини світу.

Розв'язання. а) Доказами осьового обертання Землі є:

1. *Явище відхилення тіла від вертикалі до сходу, якщо воно падає, або до заходу, якщо воно злітає (Р. Гук, 1679 р. Д. Гильменіні, 1791 р.). Величину цього відхилення розраховують за формулою [4]:*

$$l = \omega_{\oplus} \left(\frac{gt^3}{3} - v_0 t^2 \right) \cos \varphi, \quad (1)$$

де, ω_{\oplus} – кутова швидкість осьового обертання Землі, g – прискорення вільного падіння на поверхні, v_0 – початкова швидкість тіла, що злітає, φ – широта місця спостереження.

2. *Явища відхилення тіл, які рухаються горизонтально, що зумовлено наявністю сил інерції (Коріоліса), які діють у неінерціальних системах відліку:*

підмивання берегів річок (наприклад, у північній півкулі праві береги крутіші за ліві), відхилення літаків, ракет, повітряних і морських течій, тощо.

3. *Маятник Фуко* (Ж.Б.Л. Фуко, 1851 р.). Якщо такий маятник розмістити точно на географічному полюсі Землі, то площина коливань зробить повний оберт (насправді це Земля повернеться під маятником) за 23 години 56 хвилин 4 секунди (осьовий період обертання Землі). На менших широтах кутову швидкість обертання площини коливань маятника визначають формулою:

$$\omega = \omega_{\oplus} \sin\varphi. \quad (2)$$

Тоді для періоду обертання площини коливань отримуємо:

$$T = \frac{T_{\oplus}}{\sin\varphi}. \quad (3)$$

Звідси випливає, що зі зменшенням широти φ період T буде збільшуватись і на екваторі, де $\sin\varphi = 0$, він стане нескінченно великим.

4. *Сплюснутість Землі у полюсів* (Х. Гюйгенс, І. Ньютон, XVII ст.). Оскільки Земля обертається, то крім сили Коріоліса дія ще одна сила інерції – відцентрова. Вона протидіє силі тяжіння, яка спрямована до центру планети. Відцентрова сила перпендикулярна осі обертання, є максимальною на екваторі і дорівнює нулю на полюсах. Навіть якщо Земля не була повністю розплавлена в процесі свого формування як планети (на початковій стадії), то завдяки підвищеній пластичності порід Земля, внаслідок обертання, набула форму сплюсненого еліпсоїда. Різниця між екваторіальним і полярним радіусами дорівнює 21,385 км.

б) Доказами орбітального руху Землі є:

1. *Паралактичні зміщення зір* (В. Струве, 1822 р., Ф. Бессель і Т. Гендерсон, 1837-1839 рр.). Оскільки ці зміщення дуже малі, то кут ρ , під яким з деякої зорі видно радіус земної орбіти $r_{\oplus\odot}$, становить:

$$\rho = 206265'' \frac{r_{\oplus\odot}}{r}, \quad (4)$$

де r – відстань до зорі. Навіть для найближчих зір $\rho < 1''$.

2. *Аберація світла* (Дж. Бредлі, 1727-1729 рр.). Внаслідок скінченності швидкості світла та орбітального руху Землі виникає абераційне зміщення зір σ , яке визначається формулою:

$$\sigma = 206265'' \frac{v_{\oplus}}{c} \sin\theta = 20,5'' \sin\theta, \quad (5)$$

де v_{\oplus} – орбітальна швидкість Землі, c – швидкість світла, θ – кут між видимим напрямком на зорю і напрямком руху спостерігача.

3. Орбітальний рух Землі можна виявити також, вимірюючи *променеві швидкості зір* (проекції просторової швидкості зір на напрям спостерігач-зоря) за допомогою ефекту Доплера.

Задача 2. Доведіть, що планети світять відбитим сонячним світлом [3].

Розв'язання. Про це свідчить, по-перше, низька поверхнева яскравість, оскільки за помітних кутових розмірів планети мають блиск, порівняний з блиском далеких зір. Це означає, що температура поверхні досить низька.

По-друге, зменшення поверхневої яскравості планет з віддаленням від Сонця (щоправда точна залежність може маскуватися величиною альbedo планет).

По-третє, наявність залежності блиску планети від фазового кута Сонце-планета-Земля.

Телескопічні спостереження внутрішніх планет дали б змогу виявити зміну фаз (як у Місяця).

Задача 3. Доведіть, що газ у центрі Сонця є ідеальним [5].

Розв'язання. Потрібно згадати критерій ідеальності газу і порівняти середню відстань між частинками сонячної речовини з розмірами самих частинок.

Щоб визначити розміри самих частинок потрібно з'ясувати фізичний стан сонячної речовини. Згідно з сучасною моделлю Сонця температура у центрі сягає $1,55 \cdot 10^7$ К. За таких температур газ перебуває у стані повної іонізації (температура іонізації Гідрогену становить $\approx 10^5$ К, Гелію – $\approx 2 \cdot 10^5$ К). Тому розмірами частинок можна вважати розміри самих ядер (зрозуміло, що переважно це протони). За такий можна взяти радіус дії ядерних сил $r_0 \sim 10^{-15}$ м.

Далі оцінюємо середню відстань між частинками. Знаючи густину Сонця в центрі $\rho = 1,49 \cdot 10^5$ кг/м³ й масу частинок, які там перебувають, обчислюємо їх концентрацію:

$$n = \frac{\rho}{\mu m_p}, \quad (6)$$

де відносна молекулярна маса μ враховує хімічний склад сонячної речовини та її повну іонізацію. Величина, обернена до концентрації, – це об'єм, який припадає на одну частинку

$$V_1 = \frac{1}{n} = \frac{\mu m_p}{\rho}. \quad (7)$$

Середня відстань між частинками є відстанню між центрами цих об'ємів. Вважаючи ці об'єми сферичними (рис. 1), дістаємо (для $\mu = 0,6$):

$$d = \left(\frac{6V_1}{\pi} \right)^{\frac{1}{3}} = \left(\frac{6\mu m_p}{\pi\rho} \right)^{\frac{1}{3}} \sim 10^{-11} \text{ м}. \quad (8)$$

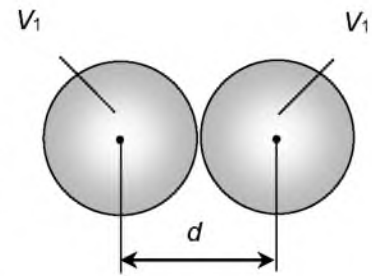


Рис. 1

Отже, $d \gg r_0$. Очевидно, що саме іонізація в надрах Сонця «врятовує» модель ідеального газу, яка на перший погляд здається неприйнятною до надр зір.

Посиленню ролі доведень під час навчання астрономії ми присвятили кілька статей, особливо детально в цьому контексті розглянувши тему: «Джерела енергії зір» [6–8]. Як приклад пропонуємо розв'язання такої задачі.

Задача 4. Доведіть, що джерелом енергії зір не є розпад радіоактивних елементів [9].

Розв'язання. Період піврозпаду Радію дорівнює 1620 років, а ізоотопу Урану ${}_{92}^{238}\text{U}$, з якого на 99,27% складається природний Уран, – 4,51 млрд. років [10]. Отже, наприклад, радієве Сонце висвітило б основну частину своєї енергії усього за декілька тисяч років, а уранове Сонце було б істотно слабкішим за сучасне, оскільки кількість радіоактивних ядер згідно з законом радіоактивного розпаду зменшується з часом за експонентою.

До того ж уранове Сонце спалахнуло б як велетенська ядерна бомба відразу під час свого утворення. І хоча нині відомо, що у сучасному природному Урані, який містить всього 0,72% ${}^{235}\text{U}$, ланцюгова реакція не можлива (в існуючих ядерних реакторах вона відбувається тільки за умови використання уповільнювачів нейтронів), але 5 млрд. років тому вона обов'язково б розпочалася, оскільки період піврозпаду ${}^{235}\text{U}$ становить всього 713 млн. років, тому

його частка тоді була $\approx 30\%$ (для ланцюгової реакції достатньо 3% – див., наприклад [10]).

Ще один аргумент «проти» наводить Володимир Сурдін [9]. Оскільки хімічний склад зір одного віку однаковий, то й частка радіоактивних елементів в них має бути рівною. Тоді світність зір була б пропорційною їх масам (у першому степені), а насправді зорі переважної частини головної послідовності підкоряються співвідношенню $L \sim M^4$ (див., наприклад, [5]).

Нині ми також знаємо, як утворюються хімічні елементи, і розуміємо тенденції в їх розповсюдженості. За виключенням деяких сплесків (Карбон, елементи «залізного піку») головна тенденція така: чим важчий хімічний елемент, тим він рідше трапляється в природі. Тому уранові зорі або навіть зорі з урановими ядрами виглядають сьогодні повним абсурдом.

Наостанок зазначимо, що розв'язування задач на доведення, на наше переконання, має бути обов'язковим компонентом фізичної і астрономічної освіти. Зокрема, і загальна, і спеціальна астрономічна освіта має бути побудована так, щоб усі теоретичні міркування, висновки були аргументованими, переконливими (а інакше як формувати переконання, що є засадою світогляду?). За великим рахунком студенту нічого не повинно «звалюватися з неба», все має бути доведено. Для астрономії це має величезне значення, інакше її науковість може бути в будь-який момент поставлена під сумнів. Однією із найважливіших спеціальних компетентностей майбутнього фізика і астронома, а також учителя фізики та астрономії є, на нашу думку, вміння доводити і цьому потрібно вчити.

Список літератури:

1. Кузьменков С.Г. Підготовка сучасного вчителя астрономії: Монографія. – Херсон, 2011. – 332 с.
2. Курт В.Г. Правильно ли астрономы представляют себе мир? Земля и Вселенная. – 1996. – № 5. – С. 17–22.
3. Кузьменков С.Г., Сокол І.В. Сонячна система: Збірник задач. Київ, 2007. – 167 с.
4. Ольховский И.И. Курс теоретической механики для физиков. Москва, 1970. – 448 с.
5. Кузьменков С. Зорі: Астрофізичні задачі з розв'язаннями. Київ, 2010. – 206 с.

6. Кузьменков С. Посилення ролі доведень під час навчання астрономії на прикладі теми: «Джерела енергії зір». Фізика та астрономія в рідній школі. – 2014. – № 4. – С. 21–24.
7. Кузьменков С. Посилення ролі доведень під час навчання астрономії на прикладі теми: «Джерела енергії зір». Ядерні реакції. Фізика та астрономія в рідній школі. – 2014. – № 5. – С. 21–24.
8. Кузьменков С. Посилення ролі доведень під час навчання астрономії на прикладі теми: «Джерела енергії зір». Сонячні нейтрино. Фізика та астрономія в рідній школі. – 2014. – № 6. – С. 36–43.
9. Сурдин В. Астрономические олимпиады: Задачи с решениями. Москва, 1995. – 320 с.
10. Сборник задач по общему курсу физики: Учеб. пособие: Для вузов. В трёх частях. Ч. 3. Атомная и ядерная физика. Строение вещества / Под ред. В.А. Овчинкина. Москва, 2001. – 432 с.