

ФІЗИКА ТА АСТРОНОМІЯ

6 | 2009

В ШКОЛІ

ІНДЕКС 74637



**ЗМІСТ ФІЗИЧНОЇ ОСВІТИ:
ЯКИМ ЙОМУ БУТИ?**

**НЕЗВИЧАЙНІ ТЕСТИ
З ВИБОРОМ ВІДПОВІДІ**

ЩО ТАКЕ ЧАС?

**МАТЕМАТИЧНЕ
МОДЕЛЮВАННЯ ЯК МЕТОД
РОЗВ'ЯЗУВАННЯ
ЗАДАЧ З ФІЗИКИ**

**КОМП'ЮТЕРНІ МОДЕЛІ
ФІЗИЧНИХ ПРОЦЕСІВ**





Що таке час? Задачний підхід в астрономії

Сергій КУЗЬМЕНКОВ, Ігор СОКОЛ

Коли бог створював час, — кажуть ірландці, — він створив його достатньо.

Г. Бйоль

Часу майже немає, адже минулого вже немає, майбутнього ще немає, а сучасне триває мить.

Арістотель

Серед найважливіших понять, на яких будується вся система знань людства, одне з перших місць належить поняттю *час*. Час — неодмінний атрибут багатьох фізичних теорій і повсякденного життя. Проте відповісти на запитання: «Що таке час?» не так просто. Труднощі відчуватиме не тільки пересічний громадянин, а й фізик-професіонал. Чудове висловлювання про час належить одному з патріархів церкви Блаженному Августину: «Що є час? Коли мене питають, я знаю, про що йдеться. Але тільки я починаю пояснювати, то не знаю, що й казати».

Дати визначення поняття — це означає звести його до інших, відоміших понять. Очевидно, що цей процес визначення має колись закінчитися, а саме: коли він дійде до первинних понять, до яких зводяться усі інші і які вже самі не визначаються, а тільки постулюються. Мабуть, з одного боку, час належить самій цій категорії найпервинніших понять. З іншого боку, за змістовністю його можна порівняти до таких понять, як матерія або Всесвіт.

Певною мірою звести час до просторових уявлень, формально сконструювавши єдиний простір-час з чотирма вимірюваннями, вдалося у спеціальній теорії відносності А. Ейнштейна (безпосередньо це зробив Г. Мінковський у 1908 р.). Але все ж таки час — це не просто четверта додаткова координата. Простір має істотні відмінності від часу. По-перше, це стосується наочності: простір можна бачити. Ми бачимо його відразу і повсюди. Час побачити неможливо, його можна тільки відчувати, але не цілком, як простір, а безпосередньо тільки коротку мить, «лише одну миттєвість

“зараз” з усієї послідовності миттєвостей» [12]. По-друге, у просторі ми можемо вільно пересуватися, рухатися у трьох напрямках (трьох вимірюваннях). Вільно ж пересуватися в часі ми не можемо (як же хочеться написати «поки не можемо»). По-третє, в часі є дещо, що ніяк не зводиться до просторових відповідностей, не має аналогів у геометрії. Це його «нестримний біг» [12]. Час *плине*, причому завжди в *одному напрямку* — від минулого до майбутнього.

Мабуть, наслідком цих труднощів з визначенням поняття «час» є висвітлення цього поняття в сучасних підручниках з фізики та астрономії для середньої та й вищої ланки освіти. Там ви не знайдете навіть якогось наближення до стандартних визначень відомих фізичних величин (наприклад, «швидкість — це...», або «тиск — це...», або «освітленість — це...»). Багато з авторів або взагалі уникають будь-яких визначень часу, або обмежуються таким: «Будь-яке фізичне явище триває протягом певного проміжку часу» [2]. Найбільш поширеним є таке висловлювання [1, 4]: «Простір

і час є своєрідною ареною, на якій “розігруються” всі явища та процеси, що відбуваються у світі». Підручники для старших класів нічого нового до цього не додають. І. В. Савельєв у своєму тритомнику [10], за яким ще навчаються майбутні вчителі, знову ж таки обмежується філософськими категоріями: «Простір і час — невід’ємні форми існування матерії», що з фізичного погляду є вразливим визначенням. Спроби дати визначення часу як фізичної величини належать Й. Л. Розенталю [9], але їх не можна вважати вдалими, оскільки вони потребують пояснень (які дає сам автор) майже на сторінку тексту.

Виникає запитання: чи можна в курсі астрономії, який фактично завершує фізико-математичну освіту школяра, повідомити щось важливе про час, розширити та поглибити його уявлення про це поняття, яке після вивчення фізики лишається в нього практично на інтуїтивному рівні? На нашу думку, це можливо, але враховуючи обмаль часу, який відводиться на вивчення цієї теми, ми пропонуємо це зробити за допомогою задачного підходу.

На жаль, переважна більшість учнів не дуже полюбить розв’язувати задачі. Проте важко переоцінити те значення, яке має розв’язування задач під час вивчення астрономії, особливо такого короткого, але інтенсивного курсу. Адже будь-яка задача — це привід для ефективнішого спілкування із учнями, для розмови з ними про сутність астрономічних явищ, що дає змогу корегувати і поглиблювати їхні знання, виховувати і прагнення до пошуку істини, і вміння дискутувати, аргументувати свої ідеї. Тому задачі треба підбирати такі, щоб вони були цікавими для учня і спонукали його на цей «пошук істини».

Задачний підхід полягає в тому, що засвоєння навчального матеріалу відбувається в процесі розв’язування задач. Проте

ВИВЧАЄМО АСТРОНОМІЮ

певний мінімум теоретичних відомостей учитель повинен до учнів довести й обов'язково розв'язати одну-дві задачі в класі, решту задач запропонувати самостійно опрацювати вдома.

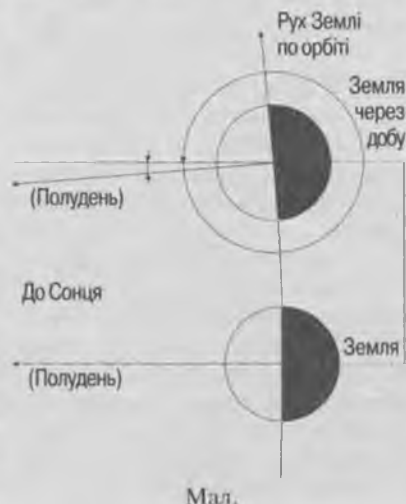
Передусім слід наголосити, що у витоків нашого розуміння часу лежить уявлення про циклічність. Наприклад, циклічність змін погоди (зміна сезонів року) є наочним проявом спливання часу. До речі, слово *погода* російською має корінь *год* (як і чеською), а в деяких європейських мовах одним словом позначаються обидва значення — час і погода (румунська, французька, іспанська, італійська) [12]. Циклічні астрономічні явища: обертання Землі навколо своєї осі і зміна діб, що через це відбувається, обертання Землі навколо Сонця і пов'язана з цим зміна пір року — це неперевірені годинники, що подарувала нам природа. Так виникли природні одиниці часу: *сонячна доба* і *тропічний рік*.

Під час визначення сонячної доби існують певні тонкощі, які вчитель повинен мати на увазі. Наприклад, у підручнику [8] як визначення, що його винесено на поля книжки, написано: «Доба — час, за який Земля робить повний оберт навколо осі. $1 \text{ год} = \frac{1}{24} \text{ доби}$; $1 \text{ год} = 60 \text{ хв} = 3600 \text{ с}$ ». Далі вже в основному тексті автор пояснює, що «... існують дві системи відліку руху космічних тіл — відносно Сонця та відносно зір. Тому і при визначенні одиниць часу теж збереглися дві системи відліку — *зоряний час* і *сонячний час*». У наступному реченні повідомляється, що «...у повсякденному житті всі люди застосовують тільки *сонячний час*» [8]. Важко сказати, чи буде після цього чітко розуміння (у тому числі в учителів, недостатньо обізнаних у астрономії), що ж таке «сонячна доба». Ситуацію погіршує також те, що, так би мовити, «за кадром» лишається співвідношення між зоряним та сонячним часом. Адже оскільки і зоряна, і соняч-

на доба поділяються на 24 год, то зоряна секунда становить 0,99726966 с.

На нашу думку, щоб не заплутувати учня, краще застосувати інше — загальноприйняте визначення: *сонячна доба* — це *проміжок часу між двома послідовними проходженнями Сонця через небесний меридіан*, або *проміжок часу між двома послідовними однойменними кульмінаціями Сонця* (від полудня до полудня або, як домовились у повсякденному житті, від півночі до півночі). Адже ми дійсно живемо виключно за Сонцем, а поняття *небесного меридіана*, *кульмінації Сонця* розглядаються у шкільних підручниках [5, 8]. І обов'язково треба показати малюнок, на якому наочно видно відмінність між сонячною та зоряною добами. Оскільки Земля одночасно бере участь у двох рухах: навколо своєї осі та навколо Сонця, то поки здійснює оберт навколо осі, вона ще зміщується по своїй орбіті на кут, трохи менший від 1° . Тому для нової появи Сонця на небесному меридіані Землі потрібно додатково повернутися навколо осі на цей кут. Це триває 3 хв 56 с. Оскільки прийнято, що сонячна доба містить 24 год, то виходить, що осьовий період обертання Землі становить 23 год 56 хв 4 с.

Зазначимо також, що в жодному підручнику (і для вищої



Мал.

школи так само) не пояснюється, чому доба ділиться саме на 24 год. А справа в тому, що поділ доби на двічі по 12 год прийшло до нас із давнього Вавилону, де число 12 вважалося священним [6]. Число 60 також вважалося священним, і відгомін 60-річної системи числення ми пожинаємо досі — ділимо годину на 60 хв, а хвилину — на 60 с. До речі, слово секунда походить від латинського вислово *secunda divisio* — друге ділення. Спочатку так ділили градус, а потім вже годину. Градус же (від лат. *gradus* — крок) виник через те, що вавилоняни, визначаючи кут, під яким можна було побачити два розташованих поруч сонячних диски, як «один крок Сонця», помітили, що на денному небі у дні рівнодень вкладається 180 «сонячних кроків». Тоді шлях Сонця за добу становить 360 «кроків». Коло стали ділити на 360 частин — градусів [3].

Головне, що потрібно з'ясувати з учнями, так це, який час показують наші годинники. Можна починати саме з цього питання. Відповідь: київський. Що таке київський час? Відповідь: час другого годинного поясу. Що таке поясний час? І так далі.

Потім можна переходити до розв'язування задач. Ми пропонуємо такі.

Задача 1. Час — зупинись! (Поглиблює поняття місцевого сонячного часу, демонструє його відносність.) *З якою швидкістю і в якому напрямку має летіти літак біля екватора Землі, щоб місцевий сонячний час на його борту зупинився* [7, 11]?

Розв'язання. Місцевий сонячний час визначається положенням Сонця на небі, яке постійно змінюється внаслідок обертання Землі навколо своєї осі (взагалі й внаслідок обертання Землі навколо Сонця, але це дуже повільне зміщення — менш ніж на 1° за добу, тому цим можна знехтувати). Для того щоб люди на борту бачили Сонце весь час в одному місці на небі й воно



ВИВЧАЄМО АСТРОНОМІЮ

не змінювало свого положення відносно літака, потрібно компенсувати обертання Землі. По-перше, оскільки Земля обертається із заходу на схід (пригадайте, Сонце сходить на сході), то для того, щоб компенсувати її обертання, літак має летіти на захід. По-друге, висоти, на які підіймаються літаки, нехтовно малі порівняно з радіусом Землі R , тому для визначення швидкості застосовуємо очевидну формулу:

$$v = \frac{2\pi R}{T},$$

де T — період обертання Землі навколо своєї осі відносно Сонця (сонячна доба). Підставляючи значення екваторіального радіуса, знаходимо, що $v = 0,5$ км/с. Це швидкість обертання Землі на екваторі (якщо точно, то відносно Сонця). Якщо пригадати, що швидкість звуку в атмосфері біля поверхні Землі становить 330 м/с, то це має бути надзвуковий літак. Виходить, за допомогою такого літака можна зупинити цей астрономічний годинник і навіть, якщо рухатися зі швидкістю, більшою, ніж 0,5 км/с, повернутися в минуле (машина часу?). Але так повернутися в минуле можна, по-перше, тільки в межах однієї доби, по-друге, тільки в іншу область простору. І, по-третє, фізичний час, біологічний годинник жодним літаком зупинити неможливо.

Задача 2. Сонячна доба і характеристики руху планети. (Поглиблює поняття сонячної доби, поширює його на інші планети, встановлює кількісну залежність її тривалості від осьового та орбітального рухів планети.) Використовуючи поняття кутової частоти, виведіть співвідношення між тривалістю сонячної доби на планеті й періодом обертання її навколо своєї осі [7].

Розв'язання. Якщо напрямки осьового та орбітального рухів збігаються, то кутову частоту наступності сонячних діб визначаємо як різницю частот:

$$\omega_s = \omega_{oc} - \omega_{orb}$$

де ω_{oc} — частота осьового обертання планети; ω_{orb} — частота її орбітального руху.

Переписемо цю формулу через відповідні періоди:

$$\frac{1}{T_s} = \frac{1}{T_{oc}} - \frac{1}{T_{orb}}$$

Для Землі, підставляючи значення $T_{oc} = 23^h 56^m 04^s$ і $T_{orb} = 365,2422$ діб, отримуємо, що тривалість сонячної доби дійсно становить 24 год.

Слід зазначити, що отримана формула справедлива лише для областей з широтами, що не перевищують $90^\circ - \epsilon$, де $\epsilon = 23,5^\circ$ — кут відхилення осі обертання Землі від нормалі до площини її орбіти. В областях Землі з широтами, що перевищують $90^\circ - \epsilon = 66,5^\circ$, спостерігаються полярні дні та полярні ночі (дні та ночі, тривалість яких, зокрема, перевищує 24 год).

Зрозуміло, що для розв'язування цієї задачі учні мають активізувати свої знання з фізики щодо поняття «кутова частота», зв'язку між частотою та періодом обертання.

Використовуючи розв'язання цієї задачі, можна розрахувати тривалість сонячної доби на будь-якій планеті.

Наступні задачі можна дати додому.

Задача 3. Поглиблюємо розуміння поняття «сонячна доба»-1. (Творча задача типу «що сталося б, якби...») Уявіть, що обертання Землі навколо осі відбувається з тим самим періодом, але у зворотному напрямку. Визначте:

а) як зміниться при цьому тривалість сонячної доби;

б) скільки середніх сонячних діб при цьому міститиме тропічний рік [7].

Розв'язання. а) Оскільки, за умовою задачі, Земля обертається у зворотному напрямку, то, використовуючи вихідне рівняння із попередньої задачі, дістаємо:

$$\omega_s = -\omega_{oc} - \omega_{orb}$$

де, як і раніше, ω_{oc} і ω_{orb} — частоти відповідно осьового й орбітального обертань планети. Звідси матимемо:

$$T_s = -\frac{T_{oc} T_{orb}}{T_{orb} + T_{oc}} = -23^h 52^m 08^s$$

Сонячна доба була б коротше, ніж тепер, а знак «мінус» означає, що Сонце на небі Землі пересуватиметься в цьому разі в протилежному напрямку: сходитиме на заході та заходитиме на сході.

$$б) \frac{T_{троп}}{T_s} = 367,25 \text{ діб.}$$

Задача 4. Поглиблюємо розуміння поняття «сонячна доба»-2. (Творча задача такого самого типу.) Чому дорівнюватиме сонячна доба, якщо Земля припинить обертання навколо своєї осі [7, 11]?

Розв'язання. Якщо $\omega_{oc} = 0$, то (див. задачі 1 і 3) $\omega_s = -\omega_{orb}$, або $T_s = -T_{orb}$. Отже, сонячна доба дорівнювала б тропічному року (!), і Сонце сходило б на заході.

Задача 5. Тривалість доби на інших планетах. (Учні ознайомлюються з цікавими випадками, коли тривалість сонячної доби істотно відрізняється від осьового періоду обертання планети, що розширює межі їхнього розуміння поняття «сонячна доба».) Визначте тривалість сонячної доби на: а) Меркурії; б) Венері [7].

Розв'язання. Використовуючи розв'язання задачі 1 і табличні дані в кінці підручника [5, 8], знаходимо: а) 176 діб; б) — 117 діб.

Виявляється, що сонячна доба на Меркурії дорівнює двом його рокам! Така величезна відмінність від осьового періоду обертання, який становить 58,65 діб (у три рази!), зумовлена якраз дуже повільним обертанням планети і близькістю до Сонця.

Для Венери слід підставити $T_{oc} = -243,16$ діб, оскільки вона обертається навколо своєї осі в

протилежному напрямку, ніж, наприклад, Земля (дивовижний випадок зворотного обертання!). Знак «мінус» у відповіді знову ж таки означає, що Сонце там сходить на заході.

Задача 6. Світ без сходу Сонця. (Творча задача, що розвиває уяву, в тому числі й просторову.) *Визначте, за яких умов на планеті не відбуватимуться зміни дня й ночі [7, 11].*

Розв'язання. Оскільки у цьому разі $\omega_s = 0$, то ця умова виконуватиметься, якщо $\omega_{oc} = \omega_{orb}$, або інакше $T_{oc} = T_{orb}$, тобто осьовий період обертання планети має збігатися з орбітальним. Для наочності можна запропонувати учням походити навколо стільця, який символізуватиме Сонце.

Задача 7. Втрачена доба. (Задача з історичним змістом, закріплює поняття лінії зміни дати, демонструє відносність часу на планеті.) *Відомо, що супутники Магеллана, які повернулися з навколосвітньої подорожі, втратили в підрахунку днів один день. Чим це пояснюється? Як запобігають цій «неприємності» в теперішній час [11]?*

Розв'язання. В основі цієї задачі лежить відомий історичний факт. У 1522 р., після трьох років першої в історії цивілізації навколосвітньої подорожі 18 учасників експедиції, які залишилися живими, досягають островів Зеленого Мису, де Антоніо Пігафетта (літописець плавання) виявляє таємниче «зникнення» однієї доби. «Рік за роком він і кормчий Альво, — описує цю подію О. А. Гурштейн [3], — незалежно один від одного здійснювали рахунок днів на кораблі. Але на «Вікторії» — серед, хоча на суходолі вже четвер. Радості повернення до рідних берегів були затьмарені раптовою бідою. Вони «помілилися» в підрахунку днів і, відповідно, переплутали всі церковні свята».

Справа в тому, що мандрівники, просуваючись на захід,

всюди жили за місцевим сонячним часом (див. задачу 1), який відстає від часу місяця старту експедиції. Тому на кінець навколосвітньої подорожі моряки не дорахувались однієї доби. Якщо вони рухалися б на схід, то одна доба виявилася би зайвою (так мандрували персонажі відомого роману Жуль Верна «Навколо світу за 80 днів»).

Поясного часу тоді ще не існувало, але його введення у 1884 р. принципово ситуацію не змінило. Різниця полягає лише в тому, що в межах одного годинного поясу час вважається однаковим. Для запобігання помилкам у рахуванні днів на поверхні Землі встановлено лінію зміни дат (вона проходить поблизу меридіана 180°). На захід від цієї лінії число місяця завжди на одиницю більше, ніж на схід від неї. Отже, на Землі завжди одночасно існують дві дати!

Чудові слова з цього приводу знайшов Стефан Цвейг в одній з новел серії історичних мініатюр «Зоряні години людства»: «...Пігафетта ... перший спостерігає явище, новизна та значенність якого хвилюватимуть і привертатимуть увагу всього століття... Ця заново пізнана істина — що в різних частинах світу час і година не збігаються — хвилюють гуманістів шістнадцятого століття приблизно так, як наших сучасників — теорія відносності...».

Ми розглянули тільки формування і застосування поняття «сонячна доба» та пов'язаних з ним питань. Про формування і застосування поняття «тропічний рік», астрономічні основи календарів ще йтиметься.

На завершення можна зробити такі висновки.

1. Загальноприйнятого визначення поняття «час» не існує. З одного боку, з визначеннями цього поняття взагалі проблема: їх майже немає. Хоча, з іншого боку, добре відомі такі властивості часу, як одновимірність, нестримна течія, незворотність («стріла часу»), відносність, однорідність.

2. Астрономія щонайменше може пояснити «роботу» та використання астрономічних годинників, що впродовж тисячоліть були джерелом точного часу, акцентувати увагу на астрономічних основах і одиницях вимірювання часу.

3. За допомогою спеціально підібраних задач, відповідної організації уроку та позакласної роботи можна істотно поглибити, розширити уявлення школярів про час. Ця тема варта того.

4. Взагалі астрономія в розмові про час спроможна на більше. Наприклад, можна за допомогою телескопів зазирнути в далеке минуле Всесвіту або побачити уповільнення часу поблизу чорної діри. Але це вже «інша історія»...

ЛІТЕРАТУРА

1. Божинова Ф. Я., Кірюхін М. М., Кірюхіна О. О. Фізика: 7 кл.: Підруч. — Харків: Ранок, 2007. — 192 с.
2. Генденштейн Л. Э. Фізика: 7 кл.: Учеб. для сред. общеобразоват. шк. — Харьков: Гимназия, 2007. — 208 с.
3. Гурштейн А. А. Извечные тайны неба. — М.: Наука, 1991. — 496 с.
4. Иванов Б. Н. Законы физики. — М.: Едиториал УРСС, 2004. — 368 с.
5. Клямишин І. А., Крячко І. П. Астрономія: Підруч. для 11 кл. загальноосвіт. навч. закладів. — К.: Знання України, 2002. — 192 с.
6. Клямишин І. А. Історія астрономії. — Івано-Франківськ: Вид-во ІФТКДІ, 2000. — 652 с.
7. Кузьменков С. Г., Сокол І. В. Сонячна система: Зб. задач. Навч. посібник. — К.: Вища шк., 2007. — 168 с.
8. Пришляк М. П. Астрономія: Підруч. для 11 кл. загальноосвіт. навч. закладів. — Харків: Веста: Ранок, 2005. — 144 с.
9. Розенталь І. Л., Архангельская І. В. Геометрія, динаміка, Вселення. — М.: Едиториал УРСС, 2003. — 200 с.
10. Савельев І. В. Курс общей физики: Учеб. пособие: В 3 т. — Т. 1. Механика: Молекулярная физика. — М.: Наука, 1986. — 432 с.
11. Сурдин В. Г. Астрономические олимпиады: Задачи с решениями. — М., 1995. — 320 с.
12. Чернин А. Д. Фізика времени. — М.: Наука, 1987. — 224 с. — (Б-ка «Квант». — Вып. 59).