

СОНЯЧНІ ГОДИННИКИ В НАВЧАЛЬНОМУ ПРОЦЕСІ З ПРИРОДНИЧИХ ДИСЦИПЛІН

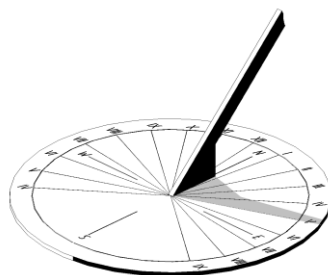
У статті наведено методи автоматизованого розрахунку і побудови сонячних годинників. Розглянуто питання використання інтерактивного сонячного годинника в процесі навчання природознавства і астрономії в школі.

Ключові слова: сонячний годинник, циферблат, аналемма, інтерактивна вправа.

Навчальною програмою з природознавства (5-й клас) передбачено формування уявлень про рух Сонця – джерела світла і тепла на Землі. Учні мають вміти пояснювати причини зміни освітленості півкуль Землі впродовж року, тривалість доби та року на Землі, зміну пір року на Землі, причини сонячних та місячних затемнень, значення вивчення Всесвіту для людини. У курсі "Загальна географія" (6-й клас) вивчаються географічні координати – широта (південна, північна) та довгота (західна і східна), правила відліку географічної широти і довготи.

Комплекс понять і явищ, які вивчає астрономія, узагальнює й завершує цикл природничого навчання. У процесі вивчення астрономії в 11 класі учні ознайомлюються з поняттями місцевого, поясного і всесвітнього часу. Необхідно заохочувати учнів до самостійного проведення астрономічних спостережень, зокрема, за видимим рухом Сонця [2].

Корисним буде проведення як у 5-х, так і у 11-х класах спостережень астрономічних явищ і об'єктів, практичних занять, виготовлення нескладних приладів (сонячних годинників, гномонів та ін.).



Мал. 1. Горизонтальний сонячний годинник

Сонячний годинник – найпростіший прилад для відліку часу.

Горизонтальний сонячний годинник має просту конструкцію і нескладний у виготовленні. Він поєднує в собі точність, ефективність і простоту.

Горизонтальний сонячний годинник складається з двох частин: 1) циферблата, який розміщений у площині горизонту; 2) стрілки, яка має форму трикутника, один з кутів якого дорівнює географічній широті місцевості. Тобто, гномон годинника направлений на полюс світу, він ніби є віссю кола, яке лежить у площині, паралельній екваторові. По цьому колу рухається Сонце.

За тінню від стрілки здійснюється відлік часу. Площина стрілки лежить у площині небесного меридіана (тобто розміщена в напрямі північ-південь). Сонячний годинник показує істинний сонячний час, який на практиці не застосовується, але можна так розрахувати циферблат годинника, що його можна буде застосовувати для визначення поясного часу (літнього або зимового). У цьому випадку треба враховувати географічні координати місцевості та рівняння часу (ЕОТ) – різницю між істинним і середнім сонячним часом. Рівняння часу може бути теоретично розраховане для будь-якого моменту часу.

Розрахунок циферблата сонячного годинника полягає у визначенні кутів між лінією істинного полудня (напрямом північ-південь) і різними значеннями літнього або зимового часу Т.

Розраховуємо момент істинного полудня:

$$T(\text{пол}) = 12 + \text{ЕОТ} - L + n + u,$$

де $T(\text{пол})$ – момент істинного полудня; ЕОТ – рівняння часу – різниця між часом, який показують звичайні годинники, і часом, який показують сонячні годинники; у кожному пору року існує свій максимум рівняння часу: близько 12 лютого +14,3 хв., 15 травня – 3,8 хв., 27 липня +6,4 хв. і 4 листопада –16,4 хв.; L – географічна довгота (виражена в годинах у розрахунку 1 год.=15°); n – номер годинного поясу (2 – для України); u – поправка на літній (+1) час.

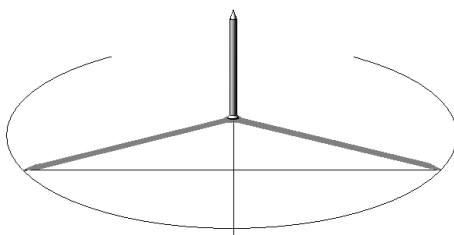
Наприклад, для Глухова (широта 51° 39', довгота 33° 59') для 9 червня отримаємо ("літній" час):

$$T(\text{пол})=12+(-0,96/60)-2,26+2+1=12,72 \text{ год.} =12 \text{ год. } 43 \text{ хв.}$$

Саме в цю мить Сонце знаходиться точно на півдні і, відповідно, відкидає тінь від стрілки на північ (N на мал. 2. 1). Розмітку циферблату виконуємо із застосуванням формули $tg(\alpha)=\sin(f)\cdot tg(t)$, де α – кут, який відкладається від лінії північ-південь до відповідної відмітки, f – широта, t – інтервал часу, виражений у градусній мірі (1 год. =15°).

Наприклад, ми хочемо дізнатися, на якій кутовій відстані від напрямку на північ буде знаходитися відмітка "14 годин".

$Arctg(\sin(f)\cdot tg((12,71-14)\cdot 15))=-15,3^\circ$, якщо відлік вести проти годинникової стрілки, то відмітка "14 годин" буде знаходитися на кутовій відстані $-15,3^\circ+360^\circ=344,7^\circ$. Аналогічно можна розрахувати інші відмітки на циферблаті, зокрема, й чверть годинні відмітки. Годинник встановлюється на горизонтальній поверхні таким чином, щоб гномон був орієнтований точно на лінії північ-південь.

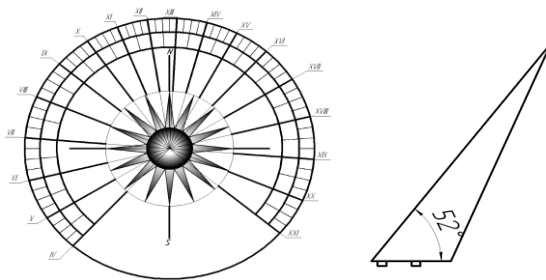


Мал. 2. Визначення напрямку на північ

Визначення напрямку на північ цілком доступний навіть для п'ятикласників. Для цього потрібно закріпити вертикальний штир (гномон) на горизонтальній поверхні. За пару годин до сонячного полудня відзначимо точкою положення тіні від гномона і проведемо коло з центром у місці закріплення гномона і радіусом, рівним довжині тіні від нього в початковий момент спостереження.

Далі потрібно постежити за тінню: вона буде зменшуватися, відходити від намальованого нами кола, але в якийсь момент почне рости і знову перетне її. Зафіксуємо цей дотик тіні другою точкою і з'єднаємо її з першою. Отриманий відрізок розділимо навпіл. Пряма, що проходить через центр кола і середину відрізка, дасть нам полуденну лінію. Ця лінія – точний напрям північ-південь (мал. 2). Таким чином, якщо відомо, яка нині година, за допомогою сонячного годинника можна точно визначити напрям на географічний полюс. Нагадаємо, що компас вказує на фізичний полюс планети.

Розрахунок шкали приладу недоступний для учнів 5-6 класів, тому вчитель заздалегідь має підготувати циферблат сонячного годинника. За бажанням на циферблаті окрім годинних, можна нанести півгодинні й чверть годинні відмітки. Підготовка креслення циферблата і гномона може бути автоматизована за допомогою комп'ютера.

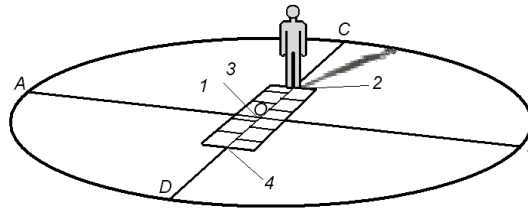


Мал. 3. Шкала і гномон горизонтального сонячного годинника

Сонячний годинник може бути інтерактивним. Гномоном цього годинника є людина, а стрілкою годинника – тінь, яку вона відкидає.

Аналемматичний сонячний годинник складається з циферблату і шкали дат. Циферблат має форму еліпса. Шкала дат співпадає з осями еліпса і орієнтована за сторонами світу. Взаємне розташування і розміри циферблату й шкали точно розраховуються для конкретних географічних координат. Щоб дізнатися час, потрібно стати ногами на назву поточного місяця на шкалі дат і зняти покази, використовуючи власну тінь. У принципі точність аналемматичного сонячного годинника така сама, як у сонячних годинників інших типів. Проте, на практиці їхня точність обмежується шириною тіні людини, особливо при низькому сонці – тобто вранці і ввечері.

Циферблатом такого сонячного годинника є еліпс, який лежить у горизонтальній площині. Велика піввісь AO і мала піввісь OC еліпса, на якому відкладаються годинні відмітки, пов'язані між собою відношенням, яке залежить від широти φ місця встановлення: $OC = OA \cdot \sin(\varphi)$.

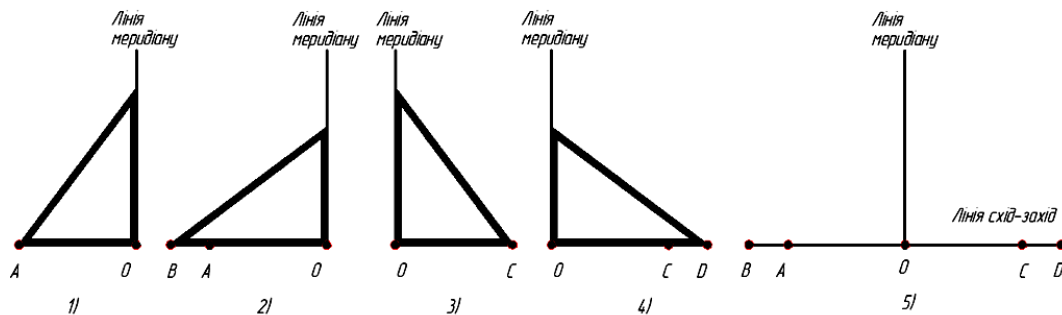


Мал. 4. Схема аналемматичного сонячного годинника

У центрі еліпса O розміщується майданчик з відмітками місяців року. Якщо людина стане на відповідну відмітку, то відкидатиме тінь у бік показів годин на циферблаті. Майданчик розміщується вздовж меридіану, тому позначки 1 і 3 відповідають дням рівнодення, на відмітку 2 потрібно ставати у день літнього сонцестояння, на відмітку 4 – у день зимового сонцестояння.

Для створення годинника може підійти горизонтальна асфальтований шкільний майданчик. Знадобиться кольорова крейда або фарба, рулетка, кутник. Кутник для розмітки прямих кутів (єгипетський трикутник) можна виготовити із рейок.

Усі графічні методи побудови аналемматичних годинників зводяться до побудови еліпса або допоміжних кіл. Якщо використовувати кутник достатніх розмірів і рулетку, годинні відмітки можна побудувати без креслення еліпса або кіл, щоправда, дугу кола доведеться накреслити у процесі визначення напрямку на північ (мал. **Ошибка! Источник ссылки не найден.**). Зробити це можна за допомогою крейди і нерозтяжної мотузки.



Мал. 5. Побудова лінії схід-захід за допомогою кутника

Для побудови аналемматичного годинника за допомогою кутника потрібно знати координати годинних відміток, тобто відстані від осей еліпса. Мала вісь еліпса має бути зорієнтована точно в напрямі північ-південь (вздовж меридіана), а велика – у напрямі схід-захід.

Якого розміру має бути сонячний годинник? Довжина тіні буде залежати від пори року, тобто від схилення Сонця. Довжина тіні l зріст людини h пов'язані формулою $l = h \cdot \operatorname{tg}(\varphi - d)$, де φ – географічна широта місцевості, d – схилення Сонця.

Наприклад, ми знаходимося у Глухові, де $\varphi = 51^\circ 39' = 51,65^\circ$.

21 червня, коли $d = 23,44^\circ$ людина висотою $h = 170$ см відкидатиме тінь довжиною

$$l = 170 \cdot \operatorname{tg}(51,65^\circ - 23,44^\circ) = 91 \text{ см.}$$

У полудень рівнодення, коли $d = 0$, $l = 170 \cdot \operatorname{tg}(51,65^\circ) = 215$ см.

21 грудня, коли $d = -23,44^\circ$ $l = 170 \cdot \operatorname{tg}(51,65^\circ + 23,44^\circ) = 638$ см. На мал. 6 за довжину малої півосі еліпса прийнято довжину тіні людини зростом 170 см у полудень рівнодення (215 см). Зазвичай довжина великої осі еліпса береться у межах 4-6 метрів.

При побудові годинних відміток, розміщених на еліпсі, враховуємо, що 24 години становить одну добу, тобто Сонце за одну годину долає кутову відстань у 15° . Полудню на циферблаті годинника відповідатиме 0° , 13-й годині – 15° , 14-й – 30° , 15-й – 45° і т.д. Відстань від осі еліпса до годинних відміток визначаються за формулами:

$$x = OA \cdot \sin(\theta); \quad y = OA \cdot \sin(\varphi) \cos(\theta),$$

де θ – відповідний годинний кут, φ – широта місцевості. Кут θ не є кутом між малою піввіссю еліпса і відрізком, проведеним до годинної відмітки з точки О. Це означає, що годинні відмітки не лежать у точках перетину еліпса із 15-градусними відрізками, які проходять крізь центр О.

Найважливіший момент – врахування поправок на місцевий час, інакше годинник не буде показувати той самий час, який показують наші механічні та електронні годинники.

Розраховуємо момент істинного (астрономічного) полудня: $T(\text{пол})=12+EOT-L+n$, де $T(\text{пол})$ – момент істинного полудня, EOT – рівняння часу (різниця між середнім сонячним та істинним сонячним часом), L – географічна довгота (виражена у годинах у розрахунку 1 год.=15°), n – номер годинного пояса. Коли діє перехід на літній час, у літній період ми додавали ще одну годину.

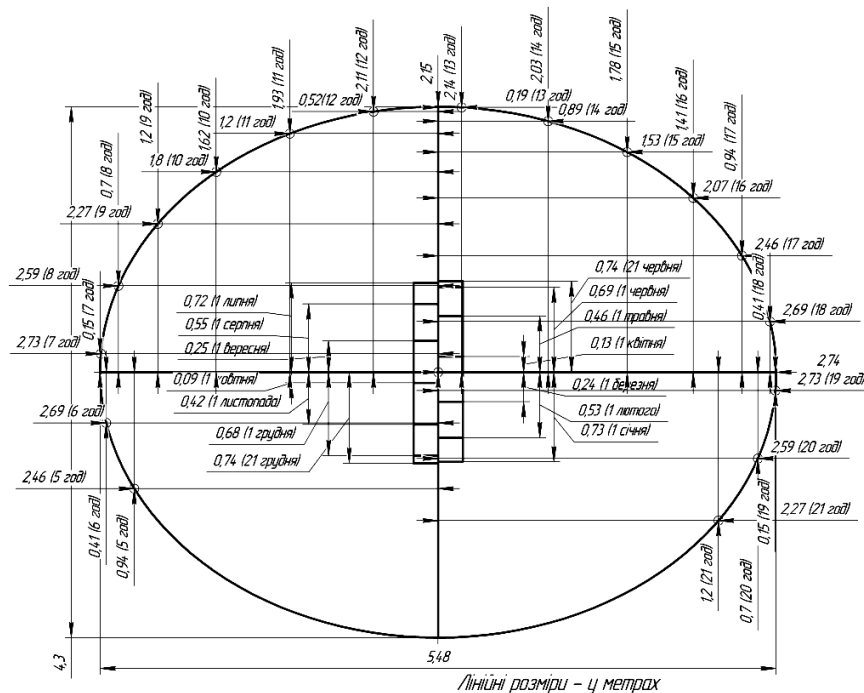
Рівнянням часу можна, в принципі, знехтувати, оскільки упродовж року воно змінюється від –16 хвилин (2 листопада) до +14 хвилин (11 лютого), дорівнює нулю 15 квітня, 14 червня, 1 вересня і 24 грудня.

Для Глухова $L = 33^{\circ}59' \approx 2 \text{ год. } 16 \text{ хв.} = 2,27 \text{ год.}$

$T(\text{пол})=12-2,27+2+1 = 12,73 \text{ год.} \approx 12 \text{ год. } 44 \text{ хв.}$

Саме о 12 год. 44 хв. (за "літнім" часом) на даній довготі настає істинний сонячний полудень і тінь від вертикального гномона лежить точно на лінії південь-північ. За "зимовим" часом – 11 год. 44 хв.

Отже, поправка становить 44 хв., або у градусній мірі $11,01^{\circ}$.



Мал. 6. Креслення аналемматичного сонячного годинника

Визначимо, наприклад, відстань від осей еліпса до 13-ти годинної відмітки.

Відстань від ОС до 13-ти годинної відмітки: $x_{13}=OA \cdot \sin(15^{\circ}-11,01^{\circ})=0,19 \text{ м};$

від ОВ до 13-ти годинної відмітки: $y_{13}=OA \cdot \sin(51,65^{\circ})\cos(15^{\circ}-11,01^{\circ})=2,14 \text{ м.}$

Подібним чином можна розрахувати координати інших годинних відміток[1]. Використовуючи кутник і рулетку можна побудувати перпендикулярні до відповідних піввісей еліпса відрізки розрахованої довжини.

Людина займає місце завжди на лінії CD на відстані Z від точки О. Розрахунок відміток у центрі еліпса, на які має ставати учень у залежності від дати, здійснюється за допомогою формули: $Z=OA \cdot \text{tg}(d) \cdot \cos(\varphi)$. Середні значення схилення Сонця d подані у таблиці 1.

Розрахунок аналемматичного сонячного годинника може бути автоматизований за допомогою комп'ютера.

На нашому сайті <http://phys.at.ua> 1) за допомогою електронної таблиці Сонячний Полудень.xlsx ви зможете швидко визначити момент істинного полудня для вашої місцевості; 2) завантажити параметризоване креслення аналемматичного сонячного годинника – файл 52_00.cdw (для роботи необхідна програма Компас-3D V12); 3) параметризоване креслення циферблата горизонтального сонячного годинника – Сонячний годинник.cdw (для роботи необхідна програма Компас-3D V12). Для створення креслення циферблата і гномона необхідно лише ввести наступні дані: географічні координати, номер доби (1 січня – 1; 2 січня – 2 і т.д.), номер годинного поясу, вказати літній чи зимовий час.

Таблиця 1

Дата	Схилення d , °
1 січня	-23,13
1 лютого	-17,30
1 березня	-8,00
1 квітня	4,25
1 травня	15,00
1 червня	22,00
21 червня	23,44
1 липня	23,00
1 серпня	18,00
1 вересня	8,50
1 жовтня	-2,90
1 листопада	-14,00
1 грудня	-21,70
21 грудня	-23,44

Побудова і використання аналемматичного сонячного годинника – чудова інтерактивна вправа. Під керівництвом вчителя діти малюють годинні відмітки кольоровою крейдою, а потім "перетворюються" на стрілку сонячного годинника. Аналемматичний годинник на шкільному подвір'ї підтримує інтерес учнів до астрономічних явищ упродовж усього року, сприятиме формуванню уявлень про особливості руху Землі навколо Сонця.

Використані джерела

1. Analemmatic sundials: How to build one and why they work [Електронний ресурс] / Chris Sangwin, Chris Budd // Plus magazine – 2000. – Режим доступу до журн. : <http://plus.maths.org/content/analemmatic-sundials-how-build-one-and-why-they-work>
2. Астрономія : програма для загальноосвітніх навчальних закладів 10-11 кл. Рівень стандарту. Академічний рівень. Профільний рівень.– К. : Поліграфкнига, 2010. – 30 с.

Ryabko A.V.

SUNDIAL IN THE LEARNING PROCESS OF THE NATURAL SCIENCES

The article presents methods for automated calculation and construction of sundials. The question of the use of interactive sundial in learning nature science and astronomy in comprehensive school.

Key words: sundial, dial, analemma, interactive exercise.

Стаття рекомендована кафедрою фізики і методики викладання Глухівського національного педагогічного університету ім. Олександра Довженка.

Стаття надійшла до редакції: 11.03.2013