

## ДОТРИМАННЯ СИМЕТРІЇ ПРИ ВИВЧЕННІ РУХУ НЕБЕСНИХ ТІЛ

**Олег ВОЛЧАНСЬКИЙ**

*У статті проводиться аналіз традиційного підходу до вивчення студентами теми «Кульмінації світил. Умови видимості світил на різних географічних широтах». Показано, що в існуючих підручниках і посібниках охоплені не всі можливі варіанти кульмінацій світил, через що порушується симетрія отримуваної картини, зокрема графіки залежності висоти світила в меридіані від географічної широти спостерігача отримують невластиві їм злами.*

*Пропонується доповнити теоретичний матеріал підручників та рекомендацій по виконанню лабораторних робіт зі сферичної астрономії аналізом усіх можливих випадків кульмінацій світил, що повинно забезпечувати дотримання принципів симетрії при вивченні цієї теми.*

*The paper analyses traditional approach to teaching students the theme "Luminaries meridian passage. Luminaries visibility conditions at varied terrestrial latitude". It claims that available textbooks do not cover all possible variants of luminaries meridian passage, which violates the symmetry of the resultant pattern, particularly the diagrams of dependency between celestial and terrestrial latitude obtain unnatural twists.*

*The paper suggests to update both the textbooks and recommendations of conducting laboratory workshops in spherical astronomy with the analyses of all possible variants of luminaries meridian passage. This will secure keeping the principles of symmetry while teaching the abovementioned theme.*

**Постановка проблеми.** Одним із найважливіших понять у сучасних природничих науках, зокрема й астрономії, є поняття симетрії. У першу чергу його пов'язують із властивостями простору та часу. У сферичній і практичній астрономії до цього додаються особливості рухів небесних тіл.

Дійсно, сама специфіка побудови сферичної астрономії має яскраво виражену центральну симетрію, а динаміка добових рухів зірок та інших об'єктів з фіксованими схиленням та прямим сходженням - осьову симетрію. Симетрія і періодичність більшості небесних явищ знайшла як світоглядне (пояснення припливних явищ, зміни пір року, прецесії і нутації земної осі), так і практичне застосування (вимірювання часу, визначення географічних координат, вимірювання дійсних відстаней до небесних тіл, їх розмірів). Повинна мати своє відображення симетрія небесних явищ і в задачі про визначення умов видимості світил, їх залежності від розташування спостерігача та екваторіальних координат світил.

**Аналіз попередніх досліджень. Виділення невирішених раніше частин проблеми.** Питання визначення умов видимості світил достатньо широко висвітлюється в навчальній літературі з астрономії. Спираючись на теорему про висоту північного полюсу світу над горизонтом, автори отримують формули зв'язку горизонтальних та екваторіальних координат у моменти кульмінацій світил [1-7].

На жаль, в існуючих підручниках охоплені не всі можливі варіанти кульмінацій світил, через що порушується симетрія отримуваної картини [1-3]. Особливо помітно це проявляється при виконанні студентами лабораторного практикуму зі сферичної астрономії в роботі «Кульмінації світил. Умови видимості світил на різних географічних широтах» [4-7]. Отримувані на основі наведених у підручниках теоретичних даних графіки залежності висоти світила в меридіані від географічної широти спостерігача мають невластиві їм злами, через що формують у студентів хибні уявлення про відсутність симетрії спостережуваних явищ.

**Формулювання мети статті.** У роботі на основі аналізу існуючих підручників і посібників пропонується розглянути можливість доповнення теоретичного матеріалу підручників та рекомендацій по виконанню лабораторних робіт зі сферичної астрономії вивченням усіх можливих випадків кульмінацій світил, що повинно забезпечувати дотримання принципів симетрії при вивченні даної теми.

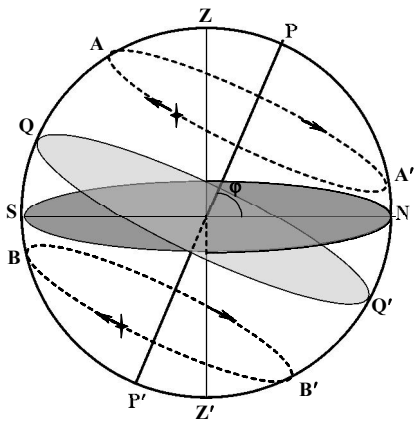
**Виклад основного матеріалу дослідження.**

Унаслідок добового обертання небесної сфери кожне світило, описуючи на небі коло (добову паралель), двічі перетинає небесний меридіан. Явище проходження світила через небесний меридіан називається *кульмінацією*.

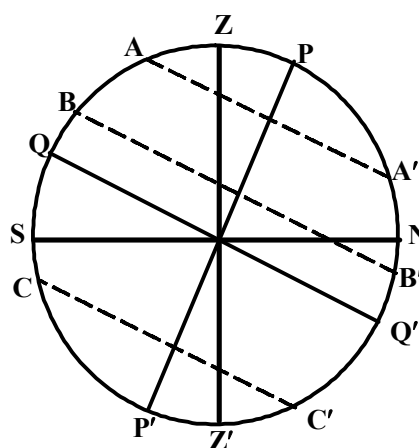
У верхній кульмінації світило буває найвище над горизонтом, у нижній кульмінації світило буває найнижче над горизонтом чи під горизонтом. Деякі зорі в момент верхньої кульмінації проходять через зеніт. Залежно від кутових відстаней, на яких світила знаходяться від полюсів світу, у кожній певній точці земної кулі вони можуть сходити і заходити, ніколи не заходити або ніколи не сходити.

Для світил, які в даній місцевості не заходять, ми бачимо і верхню, і нижню кульмінації; для світил, які сходять і заходять, - лише верхню кульмінацію; для світил, які не сходять, обидві кульмінації відбуваються під лінією горизонту. Для спостерігача на Північному полюсі Землі всі зорі північної небесної півкулі не заходять, а зорі південної небесної півкулі не сходять і навпаки. Для спостерігача на екваторі всі зорі обох небесних півкуль сходять і заходять.

Як приклад на рис.1 наведено добові паралелі світил із різними умовами видимості. Так, паралель AA' відповідає випадку, коли світило на даній широті ніколи не заходить, CC' - ніколи не сходить, BB' - сходить і заходить. (у проекції на площину небесного меридіану).



**Рис. 1.** Добові паралелі світил



**Рис.2.** Проекція добових паралелей на площину небесного меридіану

Видно, якщо світило перетинає південну частину небесного меридіану, то воно знаходиться в верхній кульмінації, а якщо північну — то в нижній. Умови видимості світил визначаються положенням їх кульмінацій. Установимо зв'язок між географічною широтою спостерігача  $\varphi$ , зенітною віддаллю  $z$ , висотою  $h$  та схиленням  $\delta$  світила в кульмінаціях. Для верхньої кульмінації залежно від положення кульмінації відносно зеніту традиційно розрізняють два випадки [4, 6-7].

1. Верхня кульмінація на південь від зеніту (рис.2). Це можливо при умові  $\varphi > \delta$ . З рис.3 видно, що при цьому

$$\varphi = \delta + z \Rightarrow z = \varphi - \delta \text{ або } h_{\text{ек}} = \delta + 90^\circ - \varphi \tag{1}$$

2. Верхня кульмінація на північ від зеніту (рис.4). Це можливо при умові  $\varphi < \delta$ . З мал.4 видно, що при цьому

$$\varphi = \delta - z \Rightarrow z = \delta - \varphi \text{ або } h_{\text{ае}} = 90^\circ + \varphi - \delta \tag{2}$$

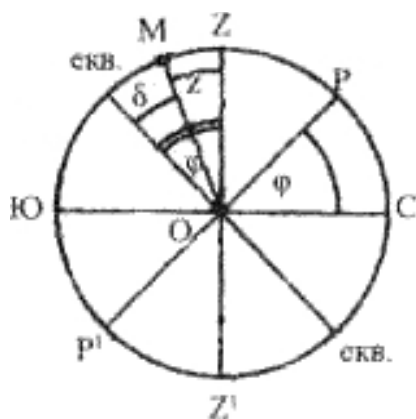


Рис.3. Верхня кульмінація на південь від зеніту

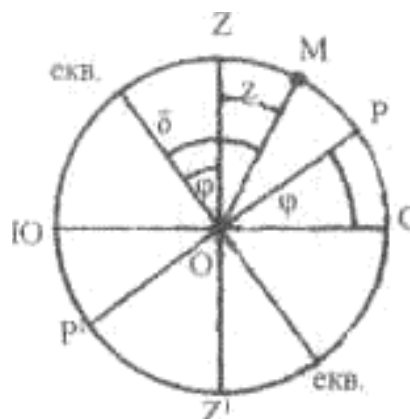


Рис.4. Верхня кульмінація на північ від зеніту

Для нижньої кульмінації традиційно розглядається один випадок, коли світило розташоване на дузі між північним полюсом і надиром (на північ від Z').

З рис.5 видно, що при цьому

$$\varphi + \delta + z = 180^\circ \Rightarrow z = 180^\circ - \varphi - \delta \text{ або } h_{нк} = \varphi + \delta - 90^\circ \tag{3}$$

У кожному місці земної поверхні з географічною широтою  $\varphi$  умови видимості небесних світил залежать від співвідношення між  $\varphi$  і  $\delta$ . Залежно від цього співвідношення одні світила ніколи не заходять на даній широті, інші — ніколи не сходять, ще інші — і заходять, і сходять. Тривалість їх перебування над горизонтом протягом доби і положення точок їх сходу та заходу знову ж таки залежать від співвідношення між  $\varphi$  і

$\delta$ . Описаних формулами (1-3) випадків достатньо для отримання всіх умов видимості світил (рис.6). Розглянемо їх виведення.

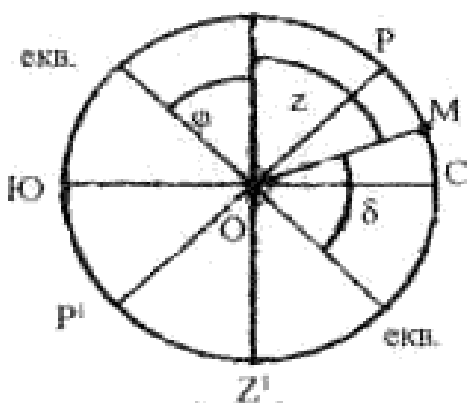


Рис.5. Нижня кульмінація на північ від надиру

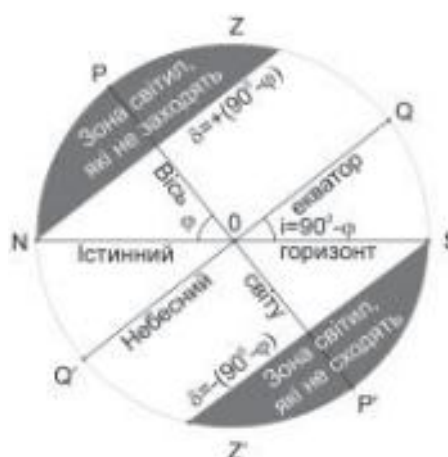


Рис.6. Умови видимості світил

Нехай  $\varphi > 0$ . Нас цікавлять світила, які на цій широті ніколи не заходять. Очевидно, що схилення світил повинно бути додатнім. Протягом доби світило не опуститься під горизонт і буде таким, яке ніколи не заходить, якщо навіть у нижній кульмінації воно знаходиться над горизонтом. Тоді із формули (3):

$$h_{нк} = \varphi + \delta - 90^0 \geq 0, \text{ звідки } \delta \geq 90^0 - \varphi \tag{4}$$

Нехай тепер нас цікавлять світила, які на даній широті ніколи не сходять. Очевидно, що для цього при  $\varphi > 0$  схилення світил повинно бути  $\delta < 0$ . Світило протягом доби не підніметься над горизонтом, якщо навіть у верхній кульмінації воно знаходиться під горизонтом. Оскільки при цьому виконується умова  $\varphi > \delta$ , можна скористатися формулою (1):

$$h_{вк} = \delta + 90^0 - \varphi \leq 0,$$

звідки бачимо, що умовою того, що світило на широті ніколи не сходить, буде нерівність

$$- \delta \geq 90^0 - \varphi \tag{5}$$

Із (5) і (4) видно, що загальною умовою того, що світило на даній широті ніколи не сходить або не заходить, є нерівність

$$|\delta| \geq 90^0 - |\varphi| \tag{6}$$

Тоді умовою того, що світило на даній широті сходить і заходить є нерівність

$$|\delta| < 90^0 - |\varphi| \tag{7}$$

Описані формулами (5-7) умови видимості небесних світил проілюстровані на рис.6. Видно, що для їх виведення було достатньо розглянутих варіантів кульмінацій.

Водночас, виконання завдання «обчислити та зобразити на графіку залежність висоти зірки у верхній та нижній кульмінаціях від географічної широти місця спостереження» за допомогою формул (1-3) дає неправильні результати. Для прикладу на рис.7 наведено названу залежність для зірки  $\alpha$  Ліри ( $\delta = 38,5^0$ ). Видно, що в діапазоні широт  $-90^0 \leq \varphi \leq -38,5^0$ , коли починає виконуватись умова  $|\delta| \geq |\varphi|$ , значення висоти світила над горизонтом стає менше  $90^0$ , що лежить за межами визначення даної величини.

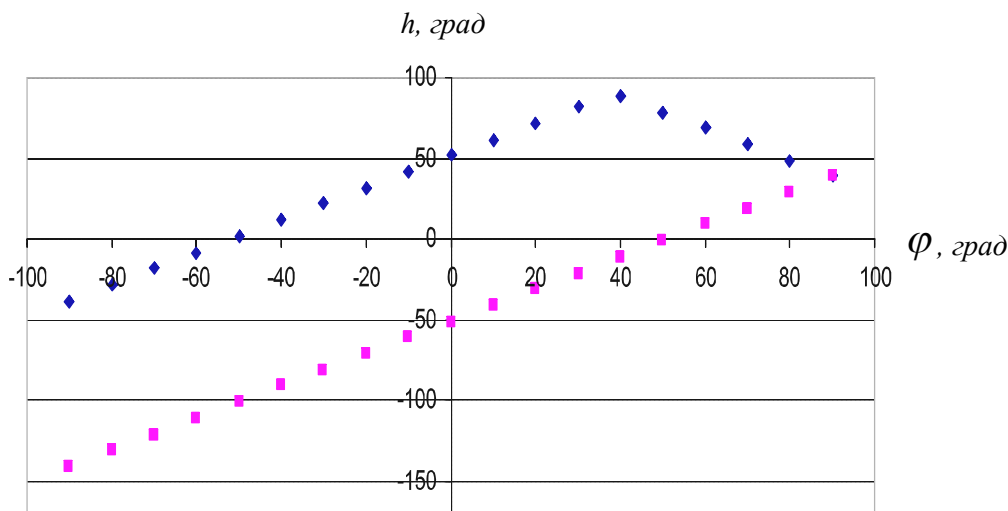


Рис.7. Графік залежності висоти  $\alpha$  Ліри в верхній ( $\diamond$ ) та нижній ( $\square$ ) кульмінаціях від географічної широти місця спостереження за традиційним підходом.

Очевидно, що помилковість наведених розрахунків зумовлена асиметрією підходів до аналізу верхньої та нижньої кульмінацій: у першому випадку отримано два варіанти формули залежно від співвідношення між  $\delta$  та  $\varphi$ , а в другому – тільки один, який виявляється непридатним у діапазоні широт  $-90^0 \leq \varphi \leq -\delta$ .

Із рис.5 видно при таких широтах нижня кульмінація відбувається на південь від  $Z'$ . Це можливо при  $\delta < 0$ ,  $\varphi < |\delta|$ . Неважко побачити, що при цьому

$$-\varphi - \delta + z = 180^0 \text{ або } h = -\varphi - \delta - 90^0 \quad (8)$$

Для прикладу на рис.8 наведено ту саму залежність для зірки  $\alpha$  Ліри ( $\delta = 38,5^0$ ), але із використанням формули (8) в діапазоні  $-90^0 \leq \varphi \leq -38,5^0$ . У цьому випадку отримуємо чотирикутник, симетричний відносно повороту на  $180^0$  навколо початку координат.

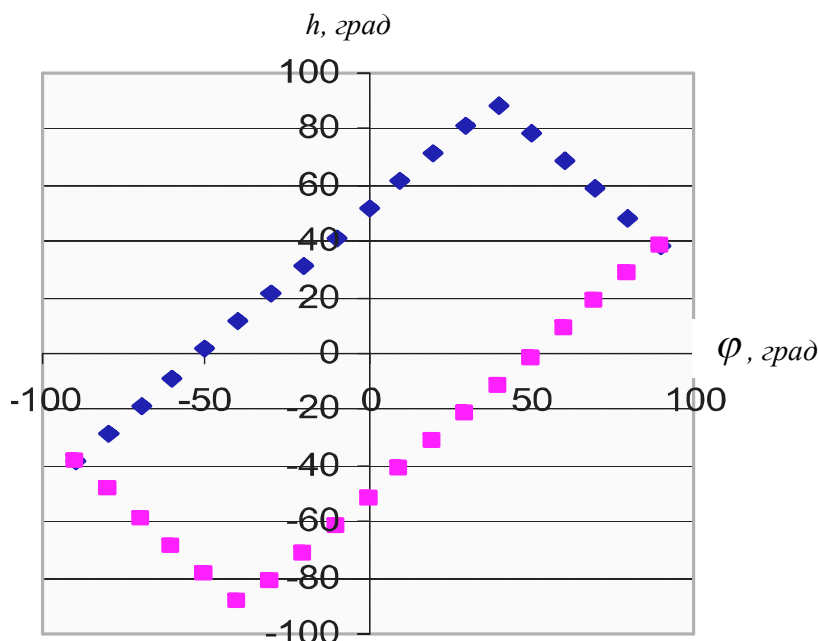


Рис.8. Графік залежності висоти  $\alpha$  Ліри в верхній ( $\diamond$ ) та нижній ( $\square$ ) кульмінаціях від географічної широти місця спостереження із врахуванням симетрії задачі.

**Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у цьому напрямку.** Таким чином, бачимо, що нехтування, здавалось би, не дуже важливим для практичного використання діапазоном кульмінацій світил, характерне для традиційного підходу в існуючих підручниках і посібниках з астрономії, приводить не тільки до неточних результатів, а й до порушення загальної симетрії опису явищ сферичної астрономії.

Пропонується доповнити теоретичний матеріал підручників та рекомендацій по виконанню лабораторних робіт зі сферичної астрономії аналізом всіх можливих випадків кульмінації світил, що повинно покращувати розуміння студентами універсальності принципів симетрії в природничих науках.

**БІБЛОГРАФІЯ**

- 1.Климишин І.А. Астрономія. – Львів: Світ, 1993. – 383 с. – ISBN 5-7773-0006-5
- 2.Дагаєв М.М. Астрономія: Учеб. пособие для студ. физ.-мат. фак. пед. ин-тов / Дагаєв М.М., Демин В.Г., Климишин И.А., Чаругин О.М.– М.: Просвещение, 1983. -384 с.
- 3.Боярченко І.Х., Гулак Ю.К., Разумаха Г.С., Сандакова Є.В. Астрономія. – 2-е вид., перероб., доп. - К.: Вища школа, 1976.
- 4.Климишин І.А. Астрономія: Практикум. – Львів: Світ, 1996.
5. Чепрасов В.Г. Практикум з курсу загальної астрономії. – 3-є вид., перероб., доп., – К.: Вища школа, 1976.
- 6.Дагаєв М.М. Лабораторный практикум по курсу общей астрономии: – М.: Высшая школа, 1963. – 314 с.
- 7.Методичні рекомендації до лабораторних робіт з курсу астрономії: Ч.І. Основи сферичної астрономії / Ук. Б.Д.Починок, В.Ф.Гамалій, В.І.Серий та ін.. – Кіровоград: КДПІ, 1993. – 56 с.

**ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРА**

**Волчанський Олег Володимирович** – кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри фізики та методики її викладання Кіровоградського державного педагогічного університету імені Володимира Винниченка.

*Коло наукових інтересів:* фототермічні та фотоакустичні явища в напівпровідниках, методика викладання фізики та астрономії, реформування вищої освіти України.