

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**  
**до самостійної роботи студентів**  
**з дисципліни**  
**“Геофізика з основами астрономії**  
**(Основи астрономії)”**  
**для студентів I курсу**

зі спеціальності Науки про Землю

**Одеса 2016**

Методичні вказівки до самостійної роботи студентів з дисципліни "Геофізика з основами астрономії (Основи астрономії)" для студентів I курсу навчання за спеціальністю "Науки про Землю", / Укладачі: к.г.н., доц. Врублевська О.О., к.г.н., доц. Катеруша Г.П., ас. Хоменко І.А. – Одеса, ОДЕКУ, 2016. – 55 с.

## Зміст

I	Загальна частина.....	4
1.1	Передмова.....	4
1.2	Зміст дисципліни «Астрономія».....	5
1.3	Перелік навчальної та методичної літератури.....	6
1.4	Перелік знань та вмінь і організація навчального процесу.....	6
II	Організація самостійної роботи студентів.....	7
2.1	Рекомендації по вивченню теоретичного матеріалу і виконанню практичних робіт.....	7
2.1.1	Загальні поради	7
2.1.2	Рекомендації по вивченню першої теми.....	7
2.1.3	Рекомендації по вивченню другої теми.....	8
2.1.4	Рекомендації по вивченню третьої теми.....	11
2.1.5	Рекомендації по вивченню четвертої теми.....	13
2.1.6	Рекомендації по вивченню п'ятої теми.....	21
2.1.7	Рекомендації по вивченню шостої теми.....	28
2.1.8	Рекомендації по вивченню сьомої теми.....	33
2.1.9	Приклади розв'язання деяких практичних задач	40
2.2	Перелік завдань на контрольну роботу	50
	Додаток А.....	55

# І ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

## 1.1 Передмова

Дисципліна „Астрономія” є нормативною навчальною дисципліною, яка належить до циклу природничо-наукових дисциплін з напрямку гідрометеорологія. Вона має за мету сформувати у студентів сучасне уявлення про загальну будову Всесвіту та Сонячної системи, а також про закони річного і добового руху світил і, зокрема, Сонця. Засвоєння основних її положень базується на знаннях та вміннях, здобутих в середній загальноосвітній школі з дисциплін „Фізична географія”, „Математика”, „Фізика”, „Астрономія”.

Курс „Астрономія” вивчається поряд з іншими загальноосвітніми дисциплінами на першому курсі, оскільки, маючи самостійне значення, як дисципліна, що поширює кругозір студента щодо довкілля, вона покликана забезпечити в подальшому правильне розуміння та засвоєння спеціальних дисциплін. Здобуті знання стануть у нагоді при вивченні таких дисциплін, як „Фізика атмосфери”, „Кліматологія”, „Супутникова метеорологія”, „Космічні методи дослідження” .

Основною метою курсу є підготовка спеціалістів-гідрометеорологів, які володіють теоретичними знаннями та практичними навичками, необхідними для коректного врахування астрономічних чинників при розв’язанні різних гідрометеорологічних задач.

Потреба створення „Збірника методичних вказівок до практичної роботи з дисципліни „Астрономія” для студентів заочного факультету” зумовлена майже відсутністю на теренах України підручників і посібників з названої дисципліни для вищої школи, в яких було б викладено основні теоретичні положення та деякі практичні рекомендації по виконанню завдань, необхідних студентам – гідрометеорологам для більш глибокого вивчення та розуміння фахових дисциплін.

Збірник містить в собі декілька розділів: теоретична частина, практична частина, рекомендації до виконання контрольних робіт, контрольні запитання та інші. У теоретичному розділі, який в свою чергу складається з двох частин, викладено, по-перше, основні відомості про небесну сферу та небесні координати, умови добового та річного руху небесних світил і, зокрема, Сонця, і по-друге, наведено розділ про час та його вимірювання.

У практичній частині методичних вказівок розглядаються приклади розв’язання задач з побудови небесної сфери з її елементами на різних широтах Земної кулі, а також задачі з знаходження положення точок на небесній сфері по їх відомих горизонтальних або екваторіальних координатах і з перетворення небесних координат.

Завершується збірник методичних вказівок низкою варіантів контрольних робіт, виконання яких дозволить студентам поглибити теоретичні знання з дисципліни і підготуватися до підсумкового контролю.

У методичних вказівках розглядаються питання, які відповідають навчальній програмі дисципліни.

## 1.2 Зміст дисципліни „Астрономія”

### 1. Вступ

Астрономія як наука про Всесвіт. Загальна картина будови Всесвіту. Сонячна система. Галактика.

### 2. Основні відомості зі сферичної геометрії та тригонометрії

Сфера та її властивості. Основні формули сферичної тригонометрії. Одиниці вимірювання на сфері ( градусні та годинні).

### 3. Небесна сфера та її елементи. Небесні координати.

Небесна сфера. Основні лінії, площини, кола та точки небесної сфери. Їх визначення. Астрономічні (небесні) координати (горизонтальна, перша і друга екваторіальні). Перетворення небесних координат.

Висота полюса світу над горизонтом даної місцевості

### 4. Видимий добовий рух світил

Добове обертання небесної сфери. Кульмінація світил. Умови сходу та заходу світил.

Добовий рух світил на різних широтах земної кулі.

### 5. Видимий річний і добовий рух Сонця

Річний рух Сонця. Екліптика.

Тропічний (сонячний ) та сидеричний (зоряний) рік.

Змінювання екваторіальних координат Сонця протягом року.

Добовий рух Сонця на різних широтах земної кулі в різні пори року: умови сходу та заходу Сонця, висота в момент верхньої кульмінації (у полудень), тривалість дня і ночі.

Зміна сезонів року та кліматичні пояси.

## 6. Час та його вимірювання

Системи вимірювання часу. Зоряний час, сонячний час (істинний та середній), поясний та місцевий час.

Демаркаційна лінія.

Роки та літочислення. Календар.

Висновок.

### 1.3 Перелік навчальної та методичної літератури

При вивченні даного курсу використовується наступна **навчальна та методична література**:

1. Врублевська О.О., Гордейчук О.П. Астрономія (конспект лекцій). – Одеса: ОДЕКУ 2003.
2. Пирожный Н.А. Астрономия. – М.: Высшая школа, 1983.
3. Климишин І.А. Астрономія. Львів.: Світ, 1994.
4. Климишин І.А. Астрономія (практикум). Львів.: Світ, 1996.
5. Бакулин П.И., Кононович Э.В., Мороз В.И. – Курс общей астрономии. – М.: Наука. 1982.
6. Воронцов – Вельяминов Б.А. Сборник задач и практических упражнений по астрономии. – М.: Наука. 1977.
7. Голота Г.П., Врублевская А.А. Небесная сфера и астрономические координаты (методические указания). Одеса: ОГМИ, 1989.
8. Врублевская А.А., Варбанец Т.В., Голота Г.П. Время и его измерение (методические указания). Одесса: ОГМИ, 1988.
9. Врублевська О.О., Катеруша Г.П., Гордейчук О.П. Методичні вказівки з дисципліни „Астрономія”. Одеса: ОДЕКУ, 2000.

### 1.4 Перелік знань та вмінь і організація навчального процесу

В результаті вивчення дисципліни у студентів має скластись уявлення про загальну картину будови Всесвіту, вони повинні засвоїти основні положення сферичної астрономії (розділ астрономії, який вивчає положення світил на небесній сфері, а також умови добового і річного руху світил і Сонця) та розділу „Час і його вимірювання”. Після вивчення курсу студент повинен

**знати**:

- елементи небесної сфери;
- системи астрономічних координат;
- закони видимого добового та річного руху світил та, зокрема, Сонця;
- основні системи вимірювання часу.

Студент повинен **вміти**:

- проводити графічні розв'язання задач по знаходженню положення об'єкта на небесній сфері за його координатами;
- визначити моменти сходу і заходу Сонця та тривалість дня;
- розраховувати висоту Сонця над горизонтом та азимут його точок сходу і заходу у різні пори року на різних широтах земної кулі;
- проводити розрахунки місцевого та поясного часу для різних пунктів земної кулі.

Вивчення дисципліни «Астрономія» для студентів заочної форми навчання складається з установчих лекцій на початку вивчення, практичних занять та самостійної роботи студента по засвоєнню теоретичного курсу і виконання контрольної роботи (див. п. 2.2).

Контроль самостійної роботи студента заочної форми навчання здійснюється шляхом перевірки контрольної роботи, яка надсилається студентом у встановлені деканатом строки, опитів на практичних заняттях та на заходах підсумкового контролю, які передбачені навчальним планом.

## II ОРГАНІЗАЦІЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТА

### 2.1 Рекомендації по вивченню теоретичного матеріалу і виконанню практичних робіт

#### 2.1.1 Загальні поради:

- зміст кожної теми курсу вивчається за допомогою наведеного у розділі I переліку навчальної та методичної літератури та рекомендацій до цієї теми.

#### 2.1.2 Рекомендації по вивченню 1-ої теми: *„Вступ. Астрономія як наука про Всесвіт. Загальна картина будови Всесвіту”*

Перша тема формує у студентів уявлення про Всесвіт та його будову, а також про Сонячну систему, як складову Всесвіту, та її будову. Дає визначення понять Галактика, Метагалактика. Знайомить з одиницями вимірювання відстаней в астрономії.

Цей розділ передбачає самостійну роботу на основі рекомендованих літературних джерел (стор.5 -12 в [1], стор.6 – 12 в [2] ).

2.1.3 Рекомендації по вивченню 2-ої теми: „Основні відомості зі сферичної геометрії та тригонометрії. Сфера та її властивості. Одиниці вимірювання на сфері (градусні та годинні)”

Вивчення основних положень сферичної астрономії (астрометрії) передбачає знання деяких елементів сферичної геометрії та тригонометрії, а саме: поняття про сферу та її властивості, сферичний кут, сферичний радіус, сферичний трикутник та його елементи; формули сферичної тригонометрії, які відбивають співвідношення між елементами сферичного трикутника (формула синусів, формула косинусів, формула п'яти елементів, формула чотирьох елементів).

**Формула синусів.** У сферичному трикутнику відношення синуса сторони до синуса прилеглого кута є стала величина:

$$\frac{\sin a}{\sin A} = \frac{\sin b}{\sin B} = \frac{\sin c}{\sin C} = n.$$

Тут же  $\frac{\sin a}{\sin A} = \frac{\sin b}{\sin B}$ , звідки  $\sin a \cdot \sin B = \sin b \cdot \sin A$ .

**Формула косинусів.** Косинус сторони дорівнює добутку косинусів двох інших сторін плюс добуток синусів тих же сторін на косинус кута між ними. Так, для сторони  $a$ :

$$\cos a = \cos b \cdot \cos c + \sin b \cdot \sin c \cdot \cos A.$$

**Формула п'яти елементів.** Добуток синусу сторони на косинус прилеглого кута дорівнює добутку косинуса протилежної цьому куту сторони на синус третьої сторони мінус добуток синуса протилежної сторони на косинус третьої сторони і на косинус кута між ними. Так, для сторони  $a$

$$\sin a \cdot \cos B = \cos b \cdot \sin c - \sin b \cdot \cos c \cdot \cos A,$$

або

$$\sin a \cdot \cos C = \cos c \cdot \sin b - \sin c \cdot \cos b \cdot \cos A.$$

Формула п'яти елементів може виражати залежність між трьома кутами та двома сторонами сферичного трикутника, і для кута  $A$  вона має вигляд

$$\sin A \cdot \cos b = \cos B \cdot \sin C + \sin B \cdot \cos C \cdot \cos a,$$



або

$$\sin A \cdot \cos c = \cos C \cdot \sin B + \sin C \cdot \cos B \cdot \cos a.$$

**Формула чотирьох елементів.** Добуток котангенса крайнього кута на синус середнього кута дорівнює добутку котангенса крайньої сторони на синус середньої сторони мінус добуток косинусів середніх елементів. Так, для елементів, розташованих у порядку  $A \rightarrow c \rightarrow B \rightarrow a$ , де  $A$  і  $a$  – крайні елементи,  $c$  і  $B$  – середні елементи, формула має вигляд

$$\operatorname{ctg} A \cdot \sin B = \operatorname{ctg} a \cdot \sin c - \cos c \cdot \cos B$$

Для більш детального вивчення цих питань рекомендується використовувати наступну літературу (стор.15-19 в [1], стор.37-39 в [2], стор.9-10 в [9]).

Слід звернути увагу на те, що вимірювання на поверхні сфери відбувається в градусній і годинній системах вимірювання. Тому студенти в цьому розділі повинні засвоїти порядок переходу від одної системи вимірювання до іншої.

### Приклад виконання роботи

Для переходу від градусної системи вимірювань до годинної використовують співвідношення між ними:

$$\begin{aligned} 24^{\text{h}} &= 360^{\circ} \\ 1^{\text{h}} &= 15^{\circ}; & 1^{\circ} &= 4^{\text{m}}; \\ 1^{\text{m}} &= 15'; & 1' &= 4^{\text{s}}; \\ 1^{\text{s}} &= 15''; & 1'' &= 1/15^{\text{s}}. \end{aligned}$$

При переводі з градусної міри в годинну можна скористатися простим правилом:

а) число градусів дуги поділимо на 15 – частка від ділення дає число годин часу. Залишок помножити на 4 – це буде число хвилин часу (перший рядок схеми переводу);

б) число хвилин дуги поділимо на 15 – частка від ділення дає число хвилин часу. Залишок помножимо на 4 – дістанемо секунди часу (другий рядок схеми перевodu);

в) число секунд дуги поділимо на 15 – одержимо число секунд часу. Залишок надаємо десятими частками секунди (третій рядок схеми перевodu).

Приклади:

$$1. \begin{array}{r} 35^0 26' 30'' - 2^h 20^m \\ \quad \quad \quad 1^m 44^s \\ \quad \quad \quad \underline{\quad 2^s} \\ 2^h 21^m 46^s \end{array}$$

$$2. \begin{array}{r} 350^0 15' 45'' - 23^h 20^m \\ \quad \quad \quad \quad \quad 1^m 0^s \\ \quad \quad \quad \quad \quad \underline{\quad 2^s} \\ 23^h 21^m 3^s \end{array}$$

$$3. \begin{array}{r} 10^0 26' 15'' - 0^h 40^m \\ \quad \quad \quad 1^m 44^s \\ \quad \quad \quad \underline{\quad 1^s} \\ 0^h 41^m 45^s \end{array}$$

$$4. \begin{array}{r} 182^0 20' 48'' - 12^h 8^m \\ \quad \quad \quad \quad \quad 1^m 20^s \\ \quad \quad \quad \quad \quad \underline{\quad 3.2^s} \\ 12^h 9^m 23.2^s \end{array}$$

Результат перевodu – це сума всіх годин, хвилин та секунд часу кожного рядка.

При переводі з годинної міри в градусну діють так:

а) число годин множать на 15 – результат буде відповідати градусам дуги (перший рядок перевodu);

б) число хвилин часу ділимо на 4 – частка від ділення дає ціле число градусів. Залишок помножимо на 15 і дістанемо число хвилин дуги (другий рядок схеми перевodu);

в) число секунд часу ділимо на 4 – одержуємо число хвилин дуги. Залишок множимо на 15 – дістаємо число секунд дуги (третій рядок схеми перевodu).

Результат перевodu – це сума всіх градусів, хвилин та секунд дуги кожного рядка.

Приклади:

$$1. \begin{array}{r} 14^h 41^m 53^s - 210^0 \\ \quad \quad \quad 10^0 15' \\ \quad \quad \quad \underline{\quad 13' 15''} \\ 220^0 28' 15'' \end{array}$$

$$2. \begin{array}{r} 1^h 5^m 45^s - 15^0 \\ \quad \quad \quad 1^0 15' \\ \quad \quad \quad \underline{\quad 11' 15''} \\ 16^0 26' 15'' \end{array}$$

$$3. 5^{\text{h}} 32^{\text{m}} 15^{\text{s}} - 75^{\circ}$$

$$\begin{array}{r} 8^{\circ}00' \\ \underline{3'45''} \\ 83^{\circ}03'45'' \end{array}$$

$$4. 0^{\text{h}} 41^{\text{m}} 45^{\text{s}} - 00^{\circ}$$

$$\begin{array}{r} 10^{\circ}15' \\ \underline{11'15''} \\ 10^{\circ}26'15'' \end{array}$$

#### 2.1.4 Рекомендації по вивченню 3-ої теми: „Небесна сфера та її елементи”

Небесна сфера – це уявна сферична поверхня довільного радіусу з центром в будь-якій точці простору (точці спостереження). Вона має ті ж властивості, що і сфера взагалі. При побудові її елементів перш за все виходять з того, що лінія виска  $zz'$  для спостерігача, який знаходиться в центрі небесної сфери, завжди має вертикальне положення. Це дає можливість побудувати площину *істинного горизонту*, яка перпендикулярна до лінії виска. При побудові осі світу  $pp'$  треба пам'ятати, що вона завжди має нахил до горизонту, який дорівнює широті, тому необхідно звертати увагу на широту  $\varphi$  місця знаходження спостерігача. Площина, яка перпендикулярна до осі світу  $pp'$ , є площиною *небесного екватору*. Площина, в якій знаходяться лінія виска і вісь світу, – це площина *небесного меридіана*.

Названі площини в перетині з небесною сферою утворюють *великі кола*, які мають назви відповідно *істинний горизонт*, *небесний екватор* і *небесний меридіан*.

Треба звернути увагу на те, що всі ці великі кола сфери перетинаються в діаметрально протилежних точках, які мають відповідні назви: перетин істинного горизонту і небесного меридіана утворюють *точку півдня S* і *точку півночі N*; перетин істинного горизонту і небесного екватору – *точку сходу E* і *точку заходу W* (названі точки належать, перш за все, горизонту і розташовані відносно одна одної на кутовій відстані  $90^{\circ}$ ); перетин небесного меридіана з небесним екватором утворюють південну  $Q$  і північну  $Q'$  точки небесного екватору. Точки  $z$  і  $z'$  та  $p$  і  $p'$ , які належать небесному меридіану, утворились в результаті перетину з небесною сферою лінії виска  $zz'$  і осі світу  $pp'$ . Більш детально ці питання викладено в (стор.22-25 в [1], стор.46-48 в [2], стор.15-19 в [4], стор.4-5) в [9]).

Положення основних ліній, кіл і точок небесної сфери наведено на рисунку 2.1

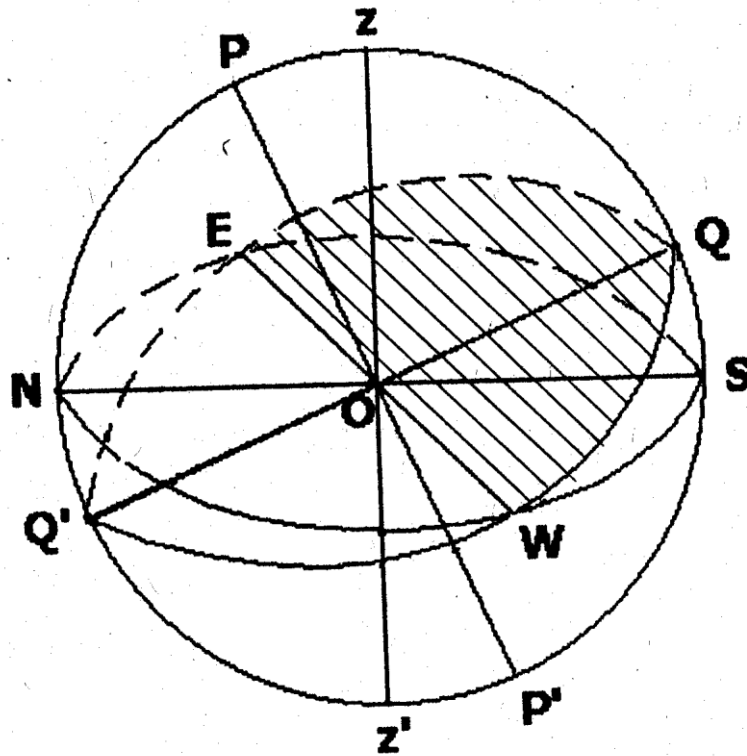


Рисунок 2.1 – Елементи небесної сфери

*Для перевірки рівня засвоєних знань слід відповісти на наступні запитання.*

1. Графічно зобразити небесну сферу, відмітивши на ній основні точки, лінії, кола.
2. Як називається лінія, яка проходить через центр небесної сфери у напрямку дії сили тяжіння?
3. Перетин яких великих кіл сфери утворює точку півдня і точку півночі істинного горизонту?
4. Як проводять площину істинного горизонту?
5. Які точки утворюються при перетині лінії виска небесної сфери?
6. Як Ви розумієте поняття «вісь світу»?
7. Які точки утворюються при перетині віссю світу небесної сфери?
8. Як проводять площину небесного екватору?
9. В якій площині розташовані лінія виска і вісь світу?
10. Через які точки проходить небесний меридіан?
11. Які точки утворюються при перетині істинного горизонту і небесного екватору?
12. На якій широті земної кулі полюс світу збігається з зенітом?

13. На якій широті земної кулі полюс світу збігається з точками півночі та півдня?
14. Зобразити небесну сферу з її елементами для  $\varphi = 0^\circ$ ,  $\varphi = 45^\circ$ ,  $\varphi = 90^\circ$ .
15. Як називається велике коло сфери, площина якого проходить через полюс світу та світило?

Для відповіді на ці запитання необхідно виконати послідовне побудування всіх елементів небесної сфери, починаючи з лінії виска.

#### 2.1.5 Рекомендації по вивченню 4-ої теми: „Небесні координати”

Взаємне розташування та видимий рух небесних світил встановлюються за допомогою різних систем небесних або астрономічних координат. *Небесні координати* – це система чисел, що визначають положення різних об’єктів на небесній сфері по відношенню до деяких площин, ліній і точок.

В астрономії використовується декілька систем небесних сферичних координат, які відрізняються одна від одної вибором **основної площини** та початковою **точкою відліку** [стор.26-35 в [1], стор.46-64 в [2], стор.19-32 в [6], стор.5-11 в [9]).

### Горизонтальна система координат

Основною площиною горизонтальної системи координат є **площина істинного горизонту**, а точкою відліку – **точка S** (точка півдня істинного горизонту). Полюс даної системи – **зеніт Z** (рис. 2.2).

Положення світила M на небесній сфері в цій системі координат визначається двома горизонтальними координатами: висотою **h** та азимутом **A**.

**Висота світила h** – це кутова відстань світила від площини істинного горизонту, тобто ця координата характеризує положення світила відносно істинного горизонту. Вона вимірюється по *вертикалу* (або колу висоти) ZMM'Z' світила дугою MM' або центральним кутом MOM' між променем зору OM та площиною істинного горизонту.

$$\angle MOM' = \cup MM' = h$$

Кутова відстань світила від зеніту, дуга ZM, називається **зенітною відстанню** і позначається **z**.

Значення висоти світила може змінюватися від  $0^{\circ}$  до  $\pm 90^{\circ}$ . Якщо світило знаходиться над горизонтом, то його висота вважається додатною, а під горизонтом - від'ємною. Зенітна відстань  $z$  відраховується від  $0^{\circ}$  до  $180^{\circ}$  і дорівнює доповненню висоти світила до  $90^{\circ}$ , тобто  $z = 90^{\circ} - h$ .

*Азимут* світила визначає положення світила по відношенню до небесного меридіана. Він являє собою сферичний кут при зеніті  $Z$  між колом висоти (вертикалом) світила та південною частиною небесного меридіана. Він вимірюється дугою  $SM'$  істинного горизонту від точки півдня  $S$  до вертикала світила та відраховується в західному напрямку (в напрямку руху годинникової стрілки).

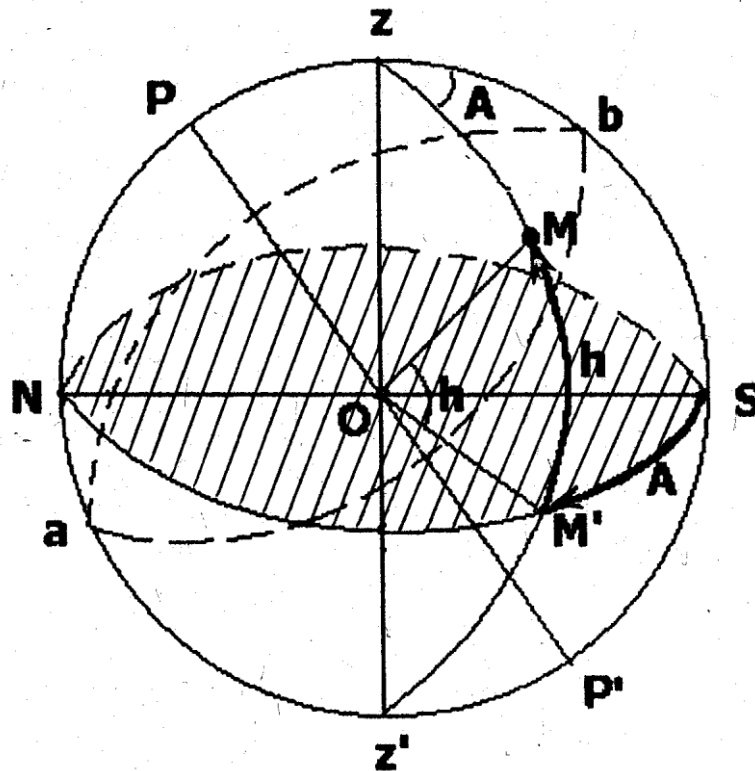


Рисунок 2.2 – Горизонтальна система координат

Азимут світила змінюється від  $0^{\circ}$  до  $360^{\circ}$ . Інколи, в ряді практичних задач азимут відраховується в обидві сторони від точки півдня: в західному напрямку він вважається додатним ( $0^{\circ} \dots 180^{\circ}$ ), а в східному – від'ємним ( $0^{\circ} \dots -180^{\circ}$ ).

Особливістю горизонтальної системи є те, що координати світила  $h$  і  $A$  протягом доби не залишаються сталими. Вони відображають положення світила на небесній сфері тільки на визначений момент часу. Траєкторія добового руху світила являє собою мале коло сфери, паралельне

небесному екватору, і називається *добовою* або *небесною паралеллю* (коло *ab*).

### Екваторіальна система координат

Розрізняють дві системи координат: першу та другу. Основною площиною обох систем є площина небесного екватора. Початком відліку першої системи є південна точка *Q* небесного екватора, а другої – точка весняного рівнодення  $\gamma$  (рис. 2.3).

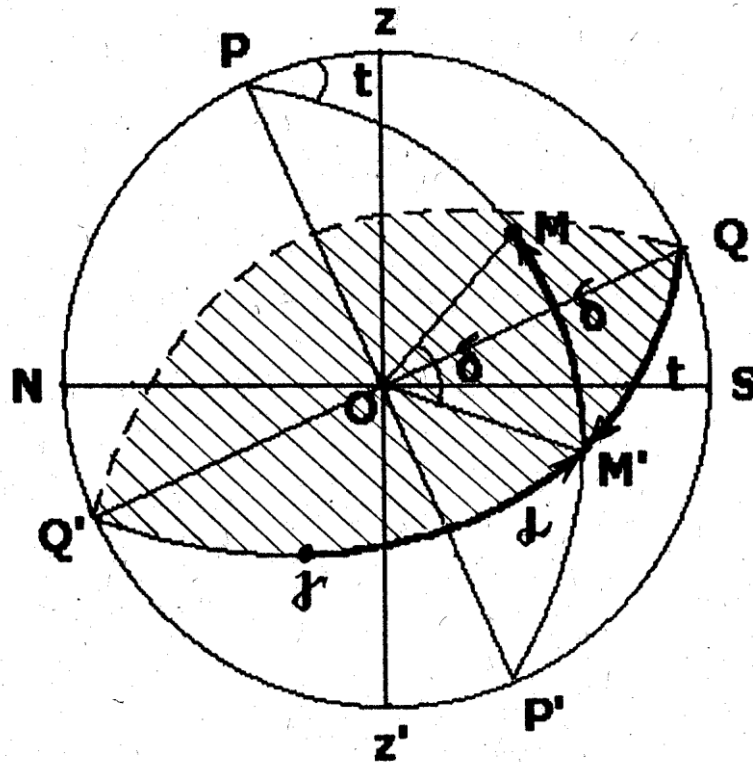


Рисунок 2.3 – Екваторіальна система координат

### Перша система екваторіальних координат

Положення світила *M* в даній системі визначається двома кутівими координатами: схиленням  $\delta$  та годинним кутом *t*.

Схиленням світила  $\delta$  називається кут *МOM'* між площиною небесного екватора та напрямком на світило (променем зору *МО*). Він вимірюється дугою *ММ'*. Іншими словами, *схилення світила – це його кутова відстань від небесного екватора, що відраховується по колу схилення РММ'Р' світила.*

$$\angle MOM' = \cup MM' = \delta$$

Схилення світила протягом доби не змінюється, оскільки добовий рух проходить паралельно площині небесного екватора.

Межі змінювання схилення світила  $-90^0 \div +90^0$ : Якщо світило розташоване на північ від небесного екватора, його схилення вважається додатним, а на південь – від’ємним.

Кутова відстань світила від небесного меридіану в екваторіальній системі координат визначається за допомогою *годинного кута*  $t$ . Це сферичний кут при полюсі світу  $P$ , утворений площиною небесного меридіану та колом схилення світила. Звичайно вимірюється він дугою небесного екватора між меридіаном спостерігача та колом схилення світила і відраховується від точки  $Q$  у напрямку руху годинникової стрілки. Таким чином,

$$\angle QOM' = \cup QM' = t$$

Протягом доби годинний кут світила не залишається сталим, а рівномірно змінюється від  $0^0$  до  $360^0$ .

### Друга екваторіальна система координат

Положення світила  $M$  у ній визначається сталими координатами: схилення  $\delta$  та прямим сходженням (піднесенням)  $\alpha$ .

Точка весняного рівнодення  $\gamma$  утворена перетином екліптики з небесним екватором. У ній Сонце, рухаючись по екліптиці, буває 21 березня, переходячи з південної півкулі в північну. Вона є початком відліку в другій екваторіальній системі координат. Положення світила відносно точки  $\gamma$  визначається дугою  $\gamma M'$ , яка називається *прямим сходженням (піднесенням) світила*. Це кутова відстань кола схилення світила від точки весняного рівнодення, що відраховується по небесному екватору проти руху годинникової стрілки.

Точка  $\gamma$  обертається разом з небесною сферою і, отже, разом з усіма світилами. Положення її відносно світил протягом доби залишається незмінним, тобто пряме сходження світила залишається сталим.

Дуга  $\gamma Q$  на рис. 3, що дорівнює сумі дуг  $\gamma M'$  та  $M'Q$ , тобто

$$\cup \gamma Q = \cup \gamma M' + \cup M'Q$$

називається годинним кутом точки весняного рівнодення або *зоряним часом*  $s$



$$s = t_{\gamma} = \alpha + t$$

Оскільки годинні кути світил, їх прями сходження тісно зв'язані з вимірюванням часу, їх часто виражають не в градусах, хвилинах і секундах дуги, а в годинах, хвилинах і секундах часу. Правила переходу з одної системи вимірювання до іншої розглянуто в п. 2.1.3.

### Зв'язок між висотою полюса світу та широтою місця спостереження (теорема про висоту полюса світу)

У будь-якій точці земної поверхні напрям осі світу завжди паралельний осі обертання Землі. Напрямок же прямовисної лінії, а отже і площини істинного горизонту, змінюється при переміщенні спостерігача по земній поверхні й складає різні кути з віссю обертання.

Взаємне розташування кіл та точок небесної сфери, зв'язаних з віссю та прямовисною лінією, залежить від напрямку лінії вису, тобто від положення спостерігача на поверхні Землі. Ця залежність формулюється у вигляді теореми: *висота полюса світу  $h_p$  над горизонтом дорівнює широті  $\varphi$  місця спостереження* (рис. 2.4).

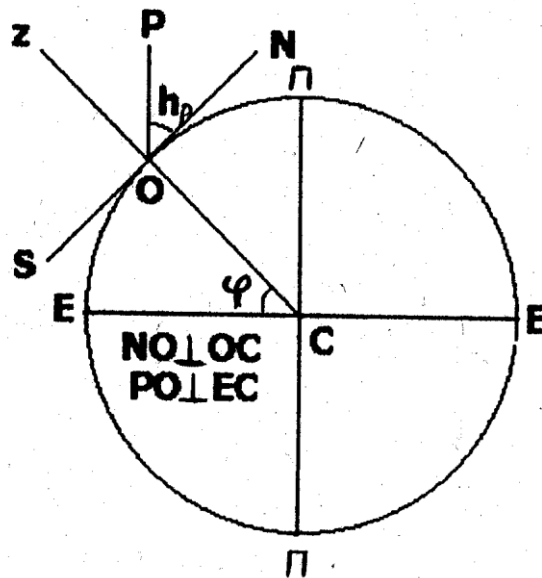


Рисунок 2.4 – Зв'язок між висотою полюса світу та географічною широтою.

ПП – вісь обертання Землі; ЕЕ – земний екватор;  $\angle ECO$  – географічна широта; РО – вісь світу; ZО – лінія виску; SN – площина істинного горизонту;  $\angle PON$  – висота полюса світу;  $h_p = \varphi$

Якщо площина небесного екватору становить з віссю світу  $90^\circ$ , а нахил осі світу до площини істинного горизонту дорівнює  $\varphi$ , тоді нахил площини небесного екватору до горизонту становить  $(90 - \varphi)^\circ$ .

### Паралактичний трикутник та перетворення астрономічних координат

Перетворення небесних координат, тобто розрахунок невідомих координат однієї системи на основі відомих іншої системи, здійснюється за допомогою паралактичного трикутника з використанням формул сферичної тригонометрії, що відображають зв'язок між елементами сферичного трикутника. При цьому слід врахувати, що трикутник завжди беруть тільки на одній половині сфери, тобто східній або західній, отже його кути та сторони будуть лежати в межах  $0^\circ \dots 180^\circ$ .

**Паралактичним трикутником** називається трикутник на небесній сфері, утворений дугами трьох великих кіл сфери: небесного меридіана, кола схилення та кола висоти світила (рис. 2.5).

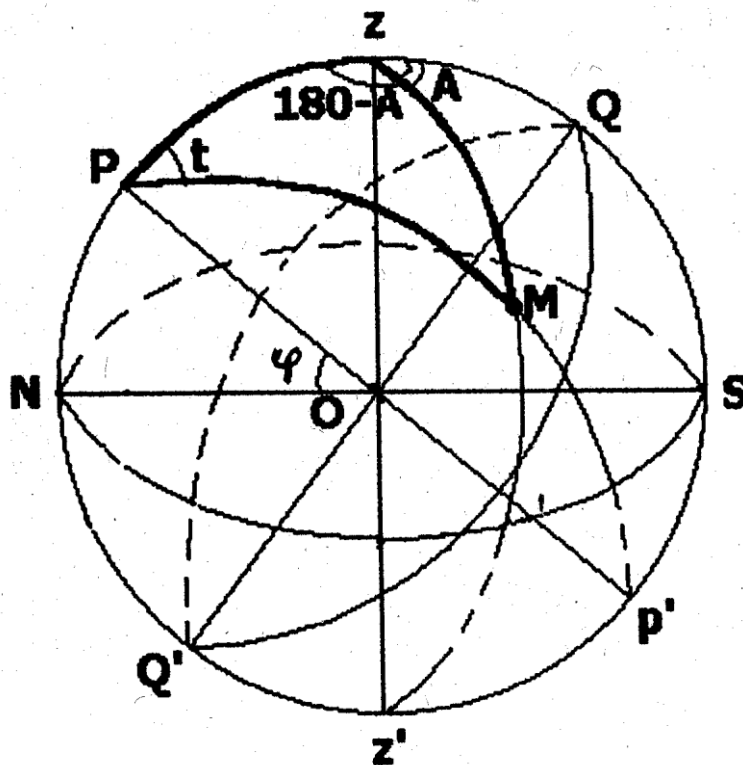


Рисунок 2.5 – Паралактичний трикутник та його елементи

Елементи паралактичного трикутника PMZ:

$$\cup PZ = 90^0 - \varphi; \quad \cup ZM = 90^0 - h = z; \quad \cup PM = 90^0 - \delta;$$

$$\angle ZPM = t; \quad \angle PZM = 180^0 - A;$$

$\angle M$  – називається паралактичним і в розрахунках не використовується.

Для обчислювання горизонтальних координат  $h$ ,  $Z$  і  $A$  по відомих екваторіальних координатах  $\delta$  та  $t$  (або екваторіальних координат  $\delta$  та  $t$  по відомих горизонтальних координатах  $h$ ,  $Z$  і  $A$ ) використовуються формули косинусів, синусів та п'яти елементів.

**По формулі косинусів:**

$$\cos z = \sin h = \sin \delta \cdot \sin \varphi + \cos \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos t; \quad (2.1)$$

**По формулі синусів:**

$$\sin A = \sin t \frac{\cos \delta}{\cos h}; \quad (2.2)$$

**По формулі п'яти елементів:**

$$\cos z \cdot \cos A = -\cos \varphi \cdot \sin \delta + \sin \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos t \quad (2.3)$$

Знак висоти світила  $h$  або його зенітної відстані  $z$  однозначно визначається рівнянням (2.1). Знак азимута  $A$  визначається спільним розв'язанням рівнянь (2.2) і (2.3).

Обчислювання екваторіальних координат  $\delta$  і  $t$  по відомих горизонтальних координатах виконується аналогічним способом.

**По формулі косинусів:**

$$\sin \delta = \sin h \cdot \sin \varphi - \cos h \cdot \cos \varphi \cdot \cos A \quad (2.4)$$

або

$$\sin \delta = \cos z \cdot \sin \varphi - \sin z \cdot \cos \varphi \cdot \cos A, \quad (2.5)$$

**По формулі синусів:**

$$\cos\delta \cdot \sin t = \cos h \cdot \sin A, \quad (2.6)$$

$$\sin t = \sin A \cdot \frac{\cos h}{\cos\delta} \quad (2.7)$$

*По формулі n'яти елементів:*

$$\cos\delta \cdot \cos t = \cos z \cdot \cos\varphi + \cos h \cdot \sin\varphi \cdot \cos A, \quad (2.8)$$

або

$$\cos\delta \cdot \cos t = \cos z \cdot \cos\varphi + \sin z \cdot \sin\varphi \cdot \cos A. \quad (2.9)$$

Знак  $\delta$  визначається знаком  $\sin\delta$  з рівняння (2.4), а квадрант для  $t$  вибирається по знаках правої частини рівнянь (2.6) та (2.7).

*Для перевірки рівня засвоєних знань слід відповісти на наступні запитання*

1. Яка площина є основною в горизонтальній системі координат?
2. Відносно якої площини оцінюється положення світила на небесній сфері за допомогою координати «висота світила»?
3. Відносно якої площини оцінюється положення світила на небесній сфері за допомогою координати «схилення світила»?
4. Що таке вертикал світила? Через які точки небесної сфери він проходить?
5. По якому колу небесної сфери відраховується висота світила?
6. По якому колу небесної сфери відраховується схилення світила?
7. Від якого кола небесної сфери відраховується положення світила на небесній сфері за допомогою азимута і годинного кута?
8. По якому колу небесної сфери відраховується азимут світила?
9. По якому колу небесної сфери відраховується годинний кут?
10. Як ви розумієте поняття «перетворення небесних координат».
11. Яка точка є точкою відліку в другій екваторіальній системі координат?
12. Як називається годинний кут точки весняного рівнодення?
13. Якщо світило розташовується в зеніті, чому дорівнює його висота  $h$ ?
14. Як називається велике коло сфери, площина якого проходить через зеніт та світило?
15. Як називається велике коло сфери, площина якого проходить через полюс світу та світило?

16. Як називаються малі кола небесної сфери, паралельні площині небесного екватора?
17. До якої системи астрономічних координат відносять азимут  $A$  та висоту світила  $h$ ?
18. Зобразити графічно положення світила на небесній сфері з азимутом  $A = 45^0$  та висотою  $h = 45^0$  ( $\varphi = 20^0$ ).
19. Зобразити графічно положення світила на небесній сфері зі схиленням  $\delta = 90^0$ , годинним кутом  $t = 45^0$  ( $\varphi = 20^0$ ).
20. Дуги яких великих кіл сфери утворюють паралактичний трикутник? Зобразити його графічно на небесній сфері.
21. Для пункту з широтою  $\varphi = 30^0$  визначити висоту та азимут світила за відомими екваторіальними координатами  $\delta = 25^030'$  та  $t = 50^030'$ . Роботу виконати графічною побудовою небесної сфери.
22. Для пункту з широтою  $\varphi = 60^0$  визначити схилення та годинний кут  $t$  світила за відомими горизонтальними координатами  $h = 60^0$ ,  $A = 50^0$ . Роботу виконати графічно побудовою небесної сфери.

#### 2.1.6 Рекомендації по вивченню 5 ої теми „Видимий добовий рух світил”

П'ята тема (стор.36-42 в [1], стор.64-71 в [2], стор.32-40 в [6, стор.14-15 в [9]) знайомить студентів з законами добового руху світил, який відбувається по *добовим паралелям*; дає уявлення про верхню і нижню кульмінації та умови видимості світил, тобто час їхнього перебування над горизонтом і під горизонтом, а також положення точок сходу і заходу світил; знайомить з правилами визначення *незахідних* і *несхідних* світил.

Слід звернути увагу на те, що траєкторії добового руху світил (добові паралелі) паралельні площині небесного екватору, тому вони нахилені до площини істинного горизонту під кутом  $(90 - \varphi)^0$ . Висота світил в моменти верхньої  $h_B$  і нижньої  $h_H$  кульмінації, а також умови видимості світил визначаються співвідношенням між широтою місця спостереження  $\varphi$  і схиленням світила  $\delta$ :

$$1. \text{ Якщо } \delta < \varphi, \text{ то } z_B = \varphi - \delta, \quad h_B = (90^0 - \varphi) + \delta \quad (2.10)$$

$$2. \text{ Якщо } \delta > \varphi, \text{ то } z_B = \delta - \varphi, \quad h_B = (90^0 - \delta) + \varphi \quad (2.11)$$

$$3. \text{ Якщо } \delta = \varphi, \text{ то } z_B = 0, \quad h_B = 90^0. \quad (2.12)$$

Тобто умовою проходження світилом *зеніту* в момент верхньої кульмінації є рівність ( $\delta = \varphi$ ).

Ілюстрацію цих положень надано на рисунку 2.6.

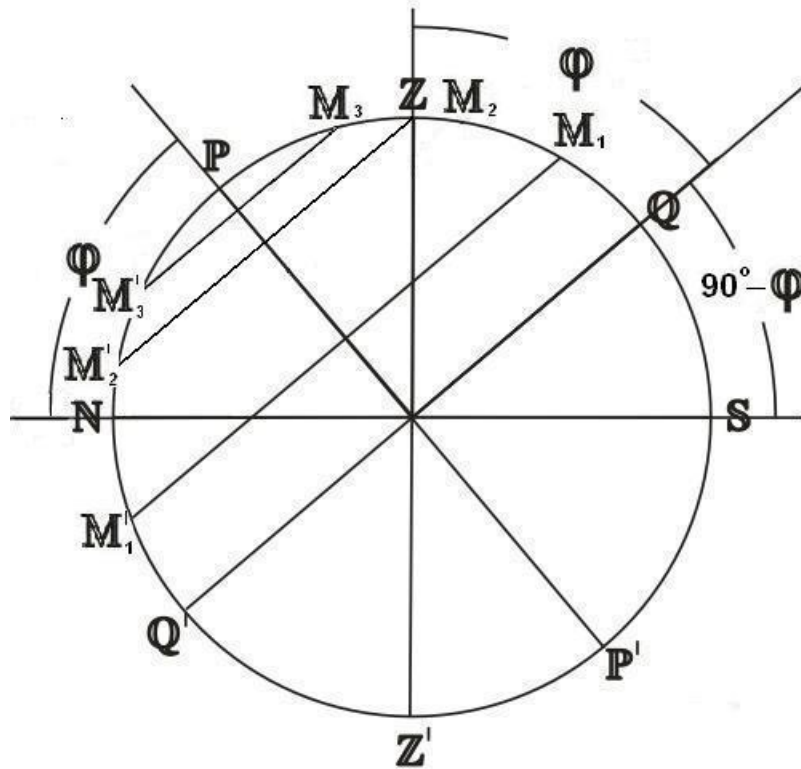


Рисунок 2.6 – Добовий рух світил

Якщо світило знаходиться в північній половині небесного меридіана, тобто в нижній кульмінації, то висота його дорівнює:

$$h_H = \delta - (90^0 - \varphi) \quad (2.13)$$

Формули для розрахунку висоти світила у верхній і нижній кульмінаціях дозволяють визначити умови видимості світил.

Якщо  $\delta < (90^0 - \varphi)$ , то  $h_H < 0$  світило на даній широті сходить і заходить.

Якщо  $\delta > (90^0 - \varphi)$ , то  $h_n > 0$  і світило навіть в момент нижньої кульмінації знаходиться над горизонтом, воно для даної широти незахідне.

Через симетрію небесної сфери світила зі схиленням  $\delta \leq -(90 - \varphi)^\circ$  взагалі не сходять, бо навіть у момент верхньої кульмінації їхня висота  $h_g \leq \delta + (90 - \varphi) \leq 0^\circ$  (вони ніколи не перетинають істинний горизонт).

Межею області незахідних світил буде добова паралель того світила, яке в момент нижньої кульмінації торкається істинного горизонту в точці  $N$  півночі ( $h_H = 0$ ).

Межею області несхідних світил буде добова паралель того світила, яке в момент верхньої кульмінації торкається істинного горизонту в точці  $S$  півдня, ( $h_B = 0$ ).

Ця симетрія виражається правилом: *коло несхідних світил дорівнює колу незахідних світил* (рис. 2.7).

Тоді умови сходу та заходу світил визначаються нерівністю:

$$-(90^\circ - \varphi) < \delta < (90^\circ - \varphi) \quad (2.14)$$

Приклади,

1. для  $\varphi = 40^\circ$  всі світила зі схиленням  $\delta \geq 50^\circ$  – *незахідні*, всі світила зі схиленням  $\delta < -50^\circ$  – *несхідні*;
2. для  $\varphi = 90^\circ$  всі світила зі схиленням  $\delta \geq 0^\circ$  – *незахідні*, тобто це всі світила північної півкулі, всі світила зі схиленням  $\delta < 0^\circ$  – *несхідні*, тобто це всі світила південної півкулі.
3. для  $\varphi = 0^\circ$  незахідними можуть бути світила зі схиленням  $\delta \geq (90 - \varphi) \geq 90^\circ$ . Таких світил, крім Полярної зірки, на небесній сфері немає. Тобто на широті екватора *незахідних світил* не існує.

Положення точок сходу та заходу не завжди збігається з точками  $E$  та  $W$  і визначається значенням схилення  $\delta$  світила. Якщо  $\delta = 0$ , то добова паралель світила збігається з небесним екватором та перетинається з істинним горизонтом у точках  $E$  та  $W$ , тобто схід і захід світил збігається з точками  $E$  та  $W$ . Час перебування світила над горизонтом і під горизонтом однаковий.

Якщо  $\delta > 0$ , світило знаходиться в північній півкулі. Його добова паралель перетинає істинний горизонт зі зміщенням на північ, і схід світила відбувається в північно-східній, а захід – в північно-західній частинах горизонту. Час перебування даного світила над горизонтом більший, ніж під горизонтом.

Якщо  $\delta < 0$ , світило розташоване в південній півкулі. Його добова паралель зсунена по відношенню до небесного екватора на південь. Схід світила відбувається в південно-східній, а захід – в південно-західній частинах горизонту. Час перебування над горизонтом менший, ніж під горизонтом (рис. 2.8).

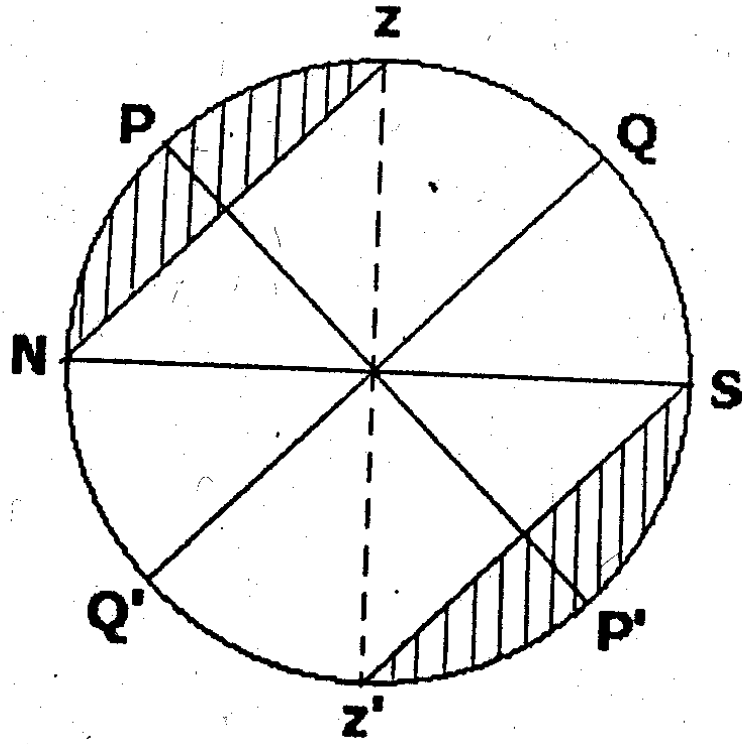


Рисунок 2.7 – Добові паралелі світил які не сходять та не заходять над горизонтом

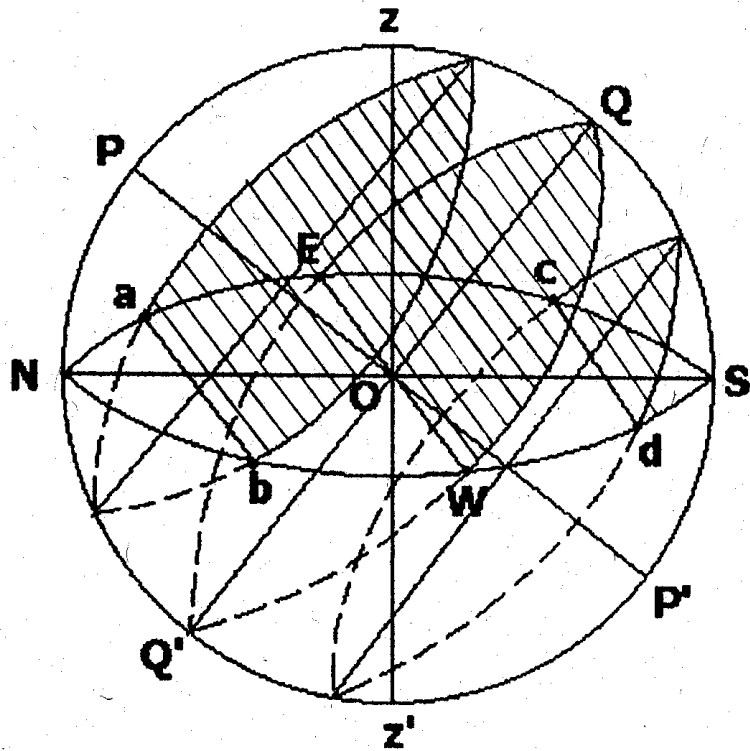


Рисунок 2.8 – Положення точок сходу та заходу світил



## Видимий рух світил на різних широтах земної кулі

Через кулястість Землі вид зоряного неба для спостерігача, який знаходиться на різних географічних широтах  $\varphi$  земної поверхні, буде різний. Це визначається теоремою про висоту полюса світу над горизонтом даної місцевості ( $h_p = \varphi$ ), яка зумовлює нахил полюса світу до істинного горизонту.

Так, на географічному північному полюсі Землі ( $\varphi = 90^\circ$ ), вісь світу збігається з лінією виска, північний полюс – з зенітом, а небесний екватор співпадає з істинним горизонтом. Траєкторії добового руху світил, які завжди паралельні небесному екватору, в даному випадку паралельні істинному горизонту. Всі зірки північної половини сфери, як вказувалось вище, будуть незахідними, а зірки південної половини – несхідними (рис. 2.9).

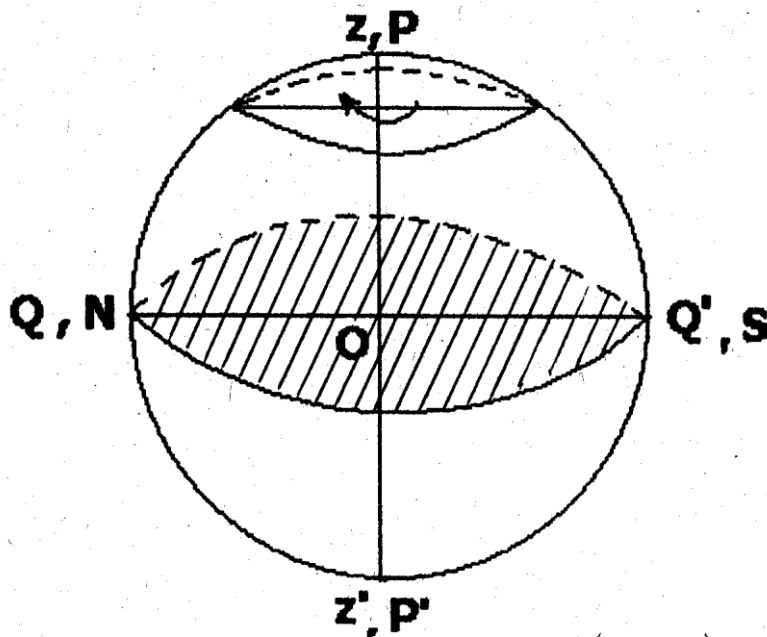


Рисунок. 2.9 – Добовий рух світил на полюсі ( $\varphi = 90^\circ$ )

На географічному екваторі Землі ( $\varphi = 0$ ) вісь світу нахилена до істинного горизонту під кутом  $0$ , тобто співпадає з ним, а лінія виска  $zz'$  лежить в площині небесного екватора. Всі світила тут сходять і заходять перпендикулярно до горизонту, час їх перебування над горизонтом і під горизонтом однаковий і протягом усього року вони доступні для спостережень (рис. 2.10).

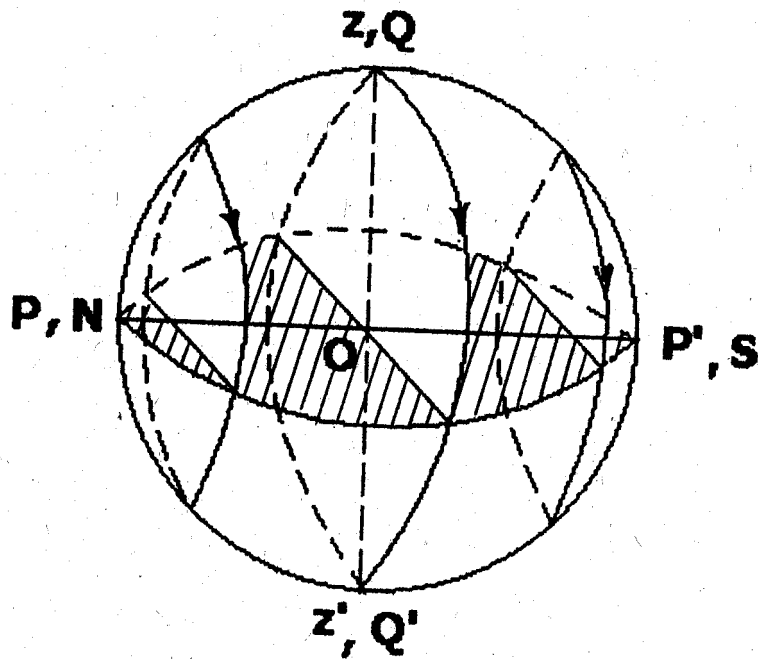


Рисунок 2.10 – Добовий рух світил на екваторі ( $\varphi = 0^\circ$ )

На довільній широті ( $0 < \varphi < 90^\circ$ ) вісь світу нахилена до горизонту під кутом  $\varphi$ . Небесний екватор та добові паралелі всіх зірок нахилені під кутом  $(90^\circ - \varphi)$  до площини істинного горизонту. І для спостерігача в північній півкулі Землі всі зірки, які знаходяться всередині області, обмеженої добовою паралеллю, що торкається горизонту в точці півночі  $N$ , будуть *незахідними*, а зірки, всередині області, обмеженої добовою паралеллю, що торкається горизонту в точці півдня  $S$ , – *не східними* (рис. 2.11).

*Для перевірки рівня засвоєних знань слід відповісти на наступні запитання*

1. Зобразити на рисунках область незахідних і несхідних світил: на  $\varphi = 50^\circ$  і на  $\varphi = 30^\circ$ .
2. Вкажіть, які світила на  $\varphi = 60^\circ$  будуть незахідними: ( $\delta_1 = 10^\circ, \delta_2 = 20^\circ, \delta_3 = 30^\circ, \delta_4 = 40^\circ, \delta_5 = 50^\circ$ ).
3. Які світила з вказаних в попередньому запитанні не будуть заходити на  $\varphi = 20^\circ$ ?
4. Визначити, які світила на  $\varphi = 70^\circ$  не будуть сходити? ( $\delta_1 = 20^\circ, \delta_2 = 30^\circ, \delta_3 = 0^\circ, \delta_4 = -20^\circ, \delta_5 = -30^\circ$ ).

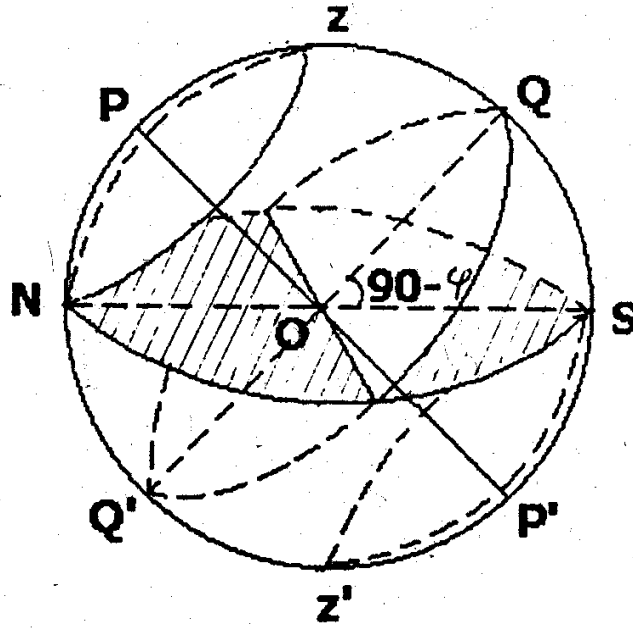


Рисунок 2.11 – Добовий рух світил в середніх широтах

5. Визначити висоту  $h_s$  світила в момент верхньої кульмінації на  $\varphi = 40^\circ$  ( $\delta_1 = 30^\circ, \delta_2 = 50^\circ$ ).
6. Визначити висоту світила в момент нижньої кульмінації на  $\varphi = 40^\circ$  ( $\delta_1 = 30^\circ, \delta_2 = 50^\circ$ ).
7. При якій умові час перебування світила над горизонтом і під горизонтом буде однаковим?
8. Який проміжок часу (перебування над горизонтом і під горизонтом) буде тривалішим для світила з  $\delta = 20^\circ$  на  $\varphi = 45^\circ$ ?
9. В якій частині горизонту на  $\varphi = 45^\circ$  сходить світило зі схиленням  $\delta = 20^\circ$ ?
10. В якій частині горизонту на  $\varphi = 50^\circ$  заходить світило з  $\delta = 10^\circ$ ?
11. В якій частині горизонту заходить і сходить світило зі схиленням  $\delta = -10^\circ$  на  $\varphi = 30^\circ$ ?
12. Чим визначається положення на горизонті точок сходу та заходу світил?
13. Де по відношенню до зеніту будуть кульмінувати в момент верхньої кульмінації на  $\varphi = 40^\circ$  світила:  $\delta_1 = 20^\circ, \delta_2 = 40^\circ, \delta_3 = 50^\circ$ ?
14. Вкажіть, на якій широті в момент верхньої кульмінації світило з  $\delta = 40^\circ$  буде знаходитись у зеніті ( $\varphi_1 = 50^\circ, \varphi_2 = 40^\circ, \varphi_3 = 30^\circ$ )?

15. При якій умові в момент верхньої кульмінації світило буде знаходитись у зеніті?
16. Зобразити на рисунках добовий рух світил на  $\varphi_1 = 0^\circ$ ,  $\varphi_2 = 45^\circ$ ,  $\varphi_3 = 90^\circ$ .

2.1.7 Рекомендації по вивченню 6 ої теми „Видимий річний і добовий рух Сонця”

Шоста тема (стор. 46-53 в [1], стор. 71-80 в [2], стор.43-46 в [6], стор.16 в [9]) доводить студентам, що добовий рух Сонця відбувається відповідно до загальних законів добового руху світил, екваторіальні координати яких незмінні. Але внаслідок річного руху Сонця по екліптиці  $\mathcal{E}\mathcal{E}'$  (траєкторія видимого річного руху Сонця навколо Землі), яка нахилена до небесного екватора під кутом  $23^\circ 27'$ , його схилення та пряме сходження протягом року змінюються. На рисунку 2.12 наведено положення площини екліптики  $\mathcal{E}\mathcal{E}'$  відносно площини небесного екватора  $QQ'$  і відповідні їм осі:  $PP'$  – вісь світу,  $ПП'$  – вісь екліптики.

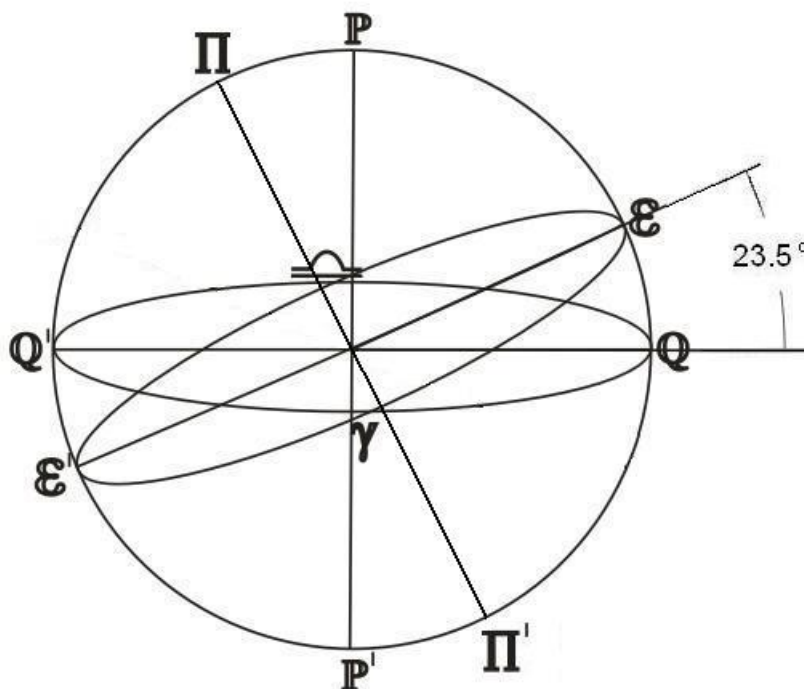


Рисунок 2.12 – Траєкторія видимого річного руху Сонця навколо Землі

## Змінювання екваторіальних координат Сонця протягом року

Екліптика  $\mathcal{E}\mathcal{E}'$ , як велике коло небесної сфери, перетинає небесний екватор у двох точках: весняного ( $\gamma$ ) та осіннього ( $\Omega$ ) рівнодень. В них Сонце буває відповідно **21 березня**, коли переходить з південної півкулі в північну, і це є дата початку астрономічної весни, та **23 вересня**, коли переходить з північної півкулі в південну – це є дата початку астрономічної осені. У ці дні схилення Сонця  $\delta = 0^\circ$ , через те, що воно знаходиться в площині небесного екватора і його добова паралель співпадає з ним. Тому у всіх пунктах земної кулі в ці дати день дорівнює ночі, а точки сходу і заходу Сонця співпадають з точками E і W. Пряме сходження Сонця 21 березня становить  $\alpha = 0^\circ$ , а 23 березня  $\alpha = 180^\circ$ .

Екліптика перетинає і коло небесного меридіана у двох точках  $\mathcal{E}$  і  $\mathcal{E}'$ , в яких Сонце буває 22 червня (день літнього сонцестояння – астрономічна дата початку літа) і 22 грудня (день зимового сонцестояння – астрономічна дата початку зими). У ці дні схилення Сонця становить відповідно  $\delta = +23,5^\circ$  і  $\delta = -23,5^\circ$ , а пряме сходження –  $\alpha = 90^\circ$  і  $\alpha = 270^\circ$ .

Таким чином, у день весняного рівнодення схилення Сонця  $\delta = 0^\circ$  і пряме сходження  $\alpha = 0^\circ$ ; у день літнього сонцестояння  $\delta = +23^\circ 27'$ ,  $\alpha = 90^\circ$ ; у день осіннього рівнодення  $\delta = 0^\circ$ ,  $\alpha = 180^\circ$ ; у день зимового сонцестояння  $\delta = -23^\circ 27'$ ,  $\alpha = 270^\circ$ , і знову в день весняного рівнодення  $\delta = 0^\circ$ ,  $\alpha = 360^\circ$ .

З наведеного випливає, що протягом року схилення Сонця змінюється від  $-23^\circ 27'$  до  $+23^\circ 27'$  (це найбільша відстань, на яку Сонце відходить від небесного екватора), а пряме сходження від  $0^\circ$  до  $360^\circ$  (або від 0 до 24 годин).

Отже, у своєму видимому русі по екліптиці Сонце здійснює один повний оберт навколо Землі. *Проміжок часу між двома послідовними проходженнями Сонцем точки весняного рівнодення називається тропічним або сонячним роком.* Розглядають ще і поняття *зоряний (або сидеричний) рік*, – це проміжок часу, протягом якого Сонце здійснивши повний оберт по екліптиці повертається до тієї ж зірки.

## Режим освітленості та інсоляції різних районів земної кулі в окремі пори року

Через змінювання екваторіальних координат Сонця протягом року змінюються і його горизонтальні координати, зокрема висота. Різниця у висотах Сонця в окремих районах земної кулі в певні сезони року найбільш помітна в момент верхньої кульмінації.

Так, на екваторі ( $\varphi = 0^\circ$ ) двічі на рік, в день весняного та осіннього рівнодення, Сонце буває опівдні в **зеніті** ( $\delta=0^\circ$ ), тобто його висота досягає  $90^\circ$ , тому що  $\delta = \varphi$ . Найменша полуденна висота тут спостерігається в день зимового та літнього сонцестояння і становить  $66,5^\circ$ . Протягом усього року день дорівнює ночі (рис. 2.13).

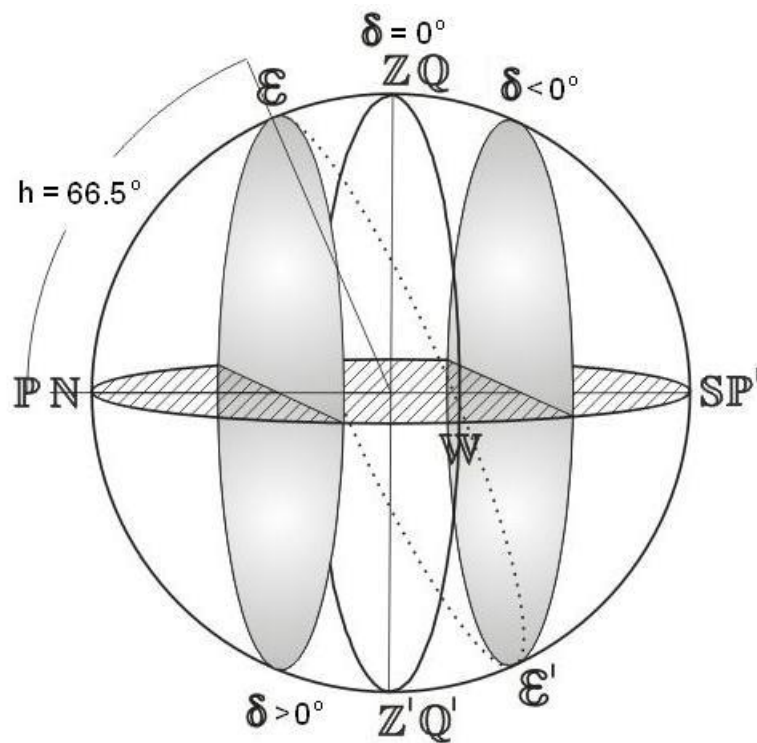


Рисунок 2.13 – Добовий рух Сонця в різні пори року на широті екватора

На північному тропіку Сонце досягає **зеніту** опівдні в день літнього сонцестояння, на південному тропіку – в день зимового сонцестояння. Найменша полуденна висота не опускається нижче  $43^\circ$  ( для північного тропіку в день зимового сонцестояння ) (рис. 2.14).

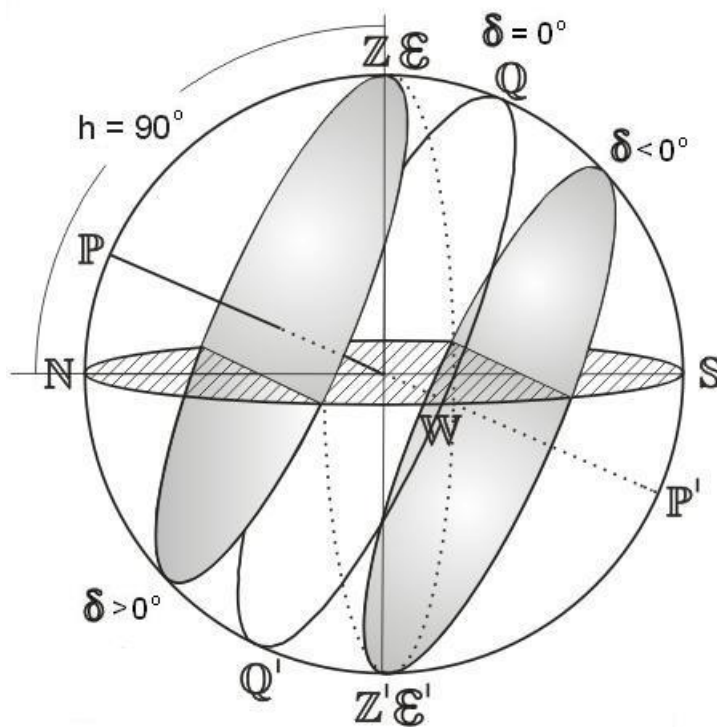


Рисунок 2.14 – Добовий рух Сонця в різні пори року на широті північного тропіка

Сонце опівдні буває двічі на рік в **зеніті** тільки в широтах, які розташовані між екватором ( $\varphi = 0^\circ$ ) та тропіками ( $\varphi = \pm 23^\circ 27'$ ), бо саме тут схилення Сонця може дорівнювати широті місця.

При зміщенні на північ від району тропічних широт максимальна висота Сонця опівдні зменшується від  $90^\circ$  на широті північного тропіку до  $23^\circ 27'$  на широті географічного полюса в день літнього сонцестояння. Тривалість в дня в цей момент часу збільшується, переходячи за полярним колом у *полярний день* (це **проміжок часу, протягом якого Сонце не заходить за горизонт**). Траєкторія добового руху Сонця на широті полярного кола і північного полюса наведена на рисунках 2.15 і 2.16 відповідно.

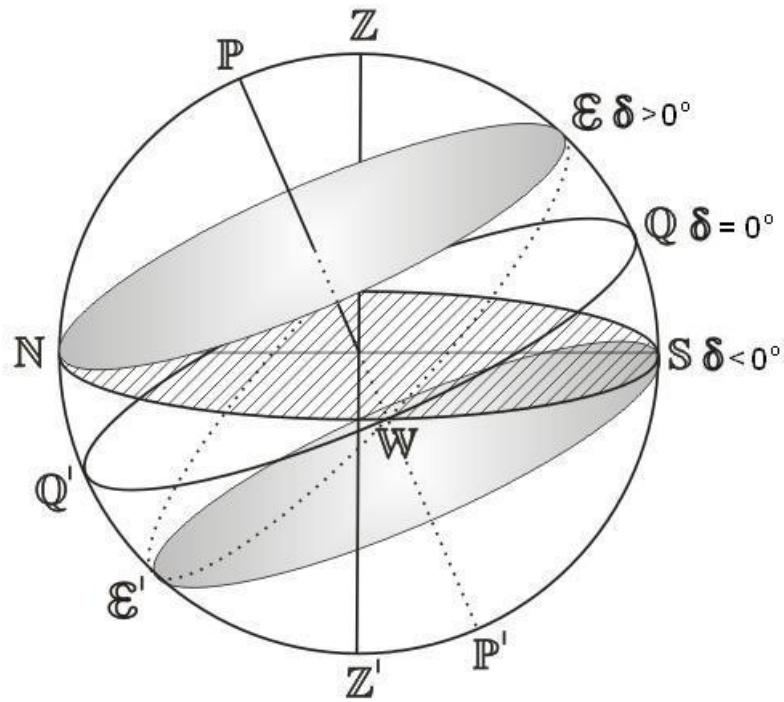


Рисунок 2.15 – Добовий рух Сонця в різні пори року на широті полярного кола

У день зимового сонцестояння в розглянутій зоні від північного тропіку до північного полюсу висота Сонця змінюється від  $43^\circ$  до  $0^\circ$ , і відмічається збільшення тривалості ночі до переходу в полярну ніч за полярним колом.

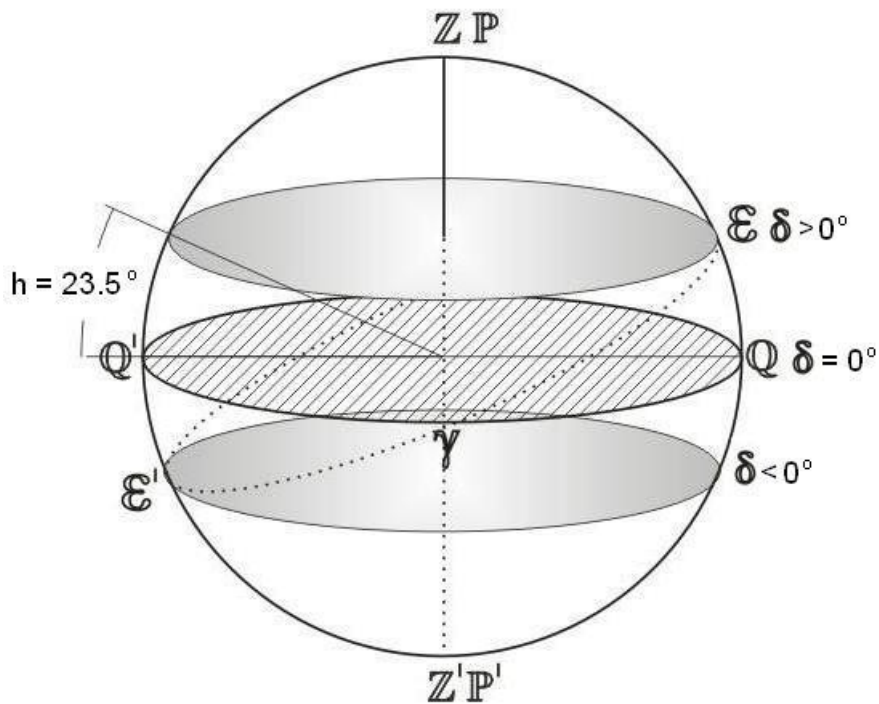


Рисунок 2.16– Добовий рух Сонця в різні пори року на широті полюса



Всі ці фактори визначають значні відмінності в добових сумах інсоляції в різних районах земної поверхні.

#### 2.1.8 Рекомендації по вивченню 7 ої теми "Час та його вимірювання"

Сьома тема (стор. 54-66 в [1], стор. 23-35 в [4], стор. 16-27 в [9]) знайомить студентів з системами вимірювання часу, нагадує, що основні одиниці часу – *доба* та *рік* – зумовлені природними астрономічними явищами: обертанням Землі навколо своєї осі і річним обертанням Землі навколо Сонця. Існують наступні системи вимірювання часу: зоряний час, сонячний час (істинний та середній), поясний та місцевий час.

Лічба великих проміжків часу ведеться за допомогою розроблених календарних систем.

#### **Зоряний час**

Складність руху Землі зумовила наявність різних систем лічби часу. Найпростіша з них – зоряний час, яка зумовлена добовим обертанням небесної сфери. Одиницею часу в цій системі є зоряна доба, тобто *проміжок між двома послідовними верхніми кульмінаціями зірки*, який дорівнює періоду обертання Землі навколо своєї осі. У межах зоряної доби зоряний час можна вимірювати годинним кутом будь-якої зірки.

На практиці зоряний час  $S$  прийнято вимірювати годинним кутом  $t$  точки весняного рівнодення  $\gamma$ , тобто  $S = t_{\gamma}$

Зоряною добою в цьому випадку називається проміжок часу між двома послідовними верхніми кульмінаціями точки весняного рівнодення на одному і

тому ж географічному меридіані.

За початок зоряної доби ( $S = 0^h 0^m 0^s$ ) приймається момент верхньої кульмінації точки весняного рівнодення на даному меридіані ( $t = 0^h 0^m 0^s$ ). Кут  $t$  показує, скільки часу назад точка була в меридіані, тобто скільки часу назад почалась зоряна доба.

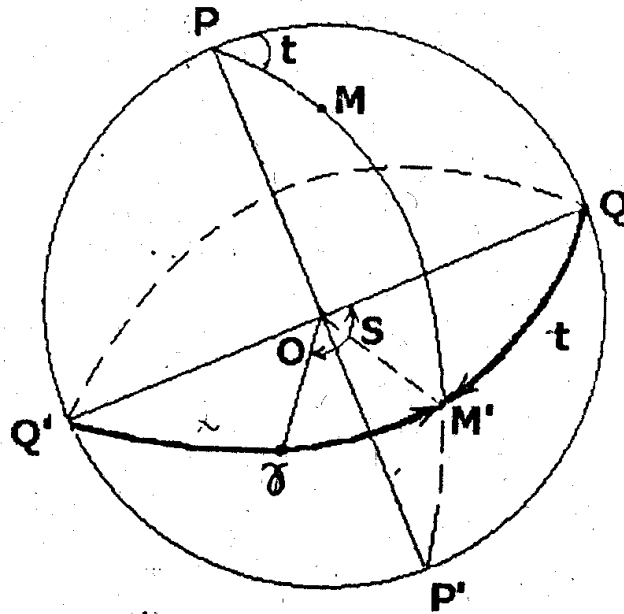


Рисунок 2.17 – Зв’язок зоряного часу з прямим сходженням і годинним кутом світила

Оскільки точка весняного рівнодення на небесній сфері не позначена і безпосередньо виміряти її годинний кут або помітити момент проходження нею небесного меридіана не можна, то для установлення початку зоряної доби або зоряного часу в будь-яку мить вимірюють годинний кут  $t$  будь-якого світила  $M$ , пряме сходження якого відоме.

Тоді

$$S = t\gamma = \alpha + t, \quad (2.15)$$

тому що зоряний час у будь-яку мить дорівнює сумі прямого сходження та годинного кута світила  $M$  (рис. 2.17).

У момент верхньої кульмінації світила  $M$  його годинний кут  $t = 0$ , і тоді

$S = \alpha$ , тобто зоряний час у будь-яку мить доби завжди дорівнює прямому сходженню світила, яке знаходиться у цю мить у верхній кульмінації.

Початок зоряної доби протягом року припадає на різні моменти дня і ночі, тому що положення Сонця відносно точки весняного рівнодення на протязі року змінюється. Так, в день весняного рівнодення зоряний час починається приблизно опівдні, а в день осіннього рівнодення – приблизно опівночі. Це обмежує можливість його використання у повсякденному житті.

У суспільно-виробничому житті лічба часу йде за Сонцем, тому у побуті використовують *сонячний час*.

## Сонячний час

Розрізняють істинний та середній сонячний час.

Істинний сонячний час  $T_o$  вимірюють годинним кутом центра диска Сонця

( $t_o$ ). Проміжок часу між двома послідовними верхніми кульмінаціями Сонця називають істинною сонячною добою.

У момент верхньої кульмінації Сонця, який називають істинним полуднем, годинний кут  $t_o = 0$ .

Через те, що Сонце рухається по екліптиці, а годинний кут вимірюють по екватору і рух Землі навколо Сонця нерівномірний, тривалість істинної сонячної доби протягом року не залишається сталою. Тому її не можна ніяк прийняти за одиницю часу.

Для створення системи ліку часу, одиниці якого відрізнялись би сталістю, ввели поняття «середнього Сонця».

*Середнє Сонце* – це уявна точка, яка рівномірно рухається по небесному екватору в тому ж напрямку, в якому істинне Сонце рухається по екліптиці, і завершує повний оберт за один тропічний рік (тобто проміжок між двома послідовними проходженнями Сонця через точку весняного рівнодення).

Середній сонячний час вимірюють годинним кутом середнього Сонця  $t_{сер}$ .

Вимірювання поточного часу проводять середньою сонячною добою, тобто проміжком часу між двома послідовними верхніми кульмінаціями середнього Сонця. Середній сонячний час визначають на основі істинного сонячного часу.

Зв'язок між положенням на небесній сфері середнього та істинного Сонця носить досить складний характер і виражається так званім *рівнянням часу*

$$\eta = t_{сер} - t_o = \alpha_o - \alpha_{сер}, \quad (2.16)$$

де  $\alpha_o$  та  $\alpha_{сер}$  – пряме сходження істинного та середнього Сонця.

Тоді

$$t_{сер} = t_o + \eta \quad (2.17)$$

Таким чином, рівняння часу відбиває залежність між годинними кутами середнього та істинного Сонця.

Чисельні значення  $\eta$  наведені в астрономічних таблицях. Тут надані значення  $\eta$  для окремих моментів часу:

Час	11.11	15. IV	15.V	14. VI	26. VII	1.X	3.XI	25. XII
$\eta$	14,3	0	-3,8	0	+6,4	0	-16,4	0

Протягом року  $\eta$  змінюється від +14 хвилин 22 секунд до -16 хвилин 24 секунд.

Графік рівняння часу показано на рис. 2.18.

Оскільки початок середньої сонячної доби припадає на середній південь (момент верхньої кульмінації середнього Сонця), це створює велику незручність для використання середнього сонячного часу у практичному житті. Тому за початок середньої сонячної доби умовились прийняти середню північ, тобто момент нижньої кульмінації середнього Сонця.

Таким чином, сонячний час  $T_{сер}$  вимірюють годинним кутом середнього Сонця, збільшеним на 12 годин (громадський час):

$$T_{сер} = t_0 + \eta + 12^h \quad (2.18)$$

Середній сонячний час розподіляють на місцевий, поясний, декретний, ефемеридний.

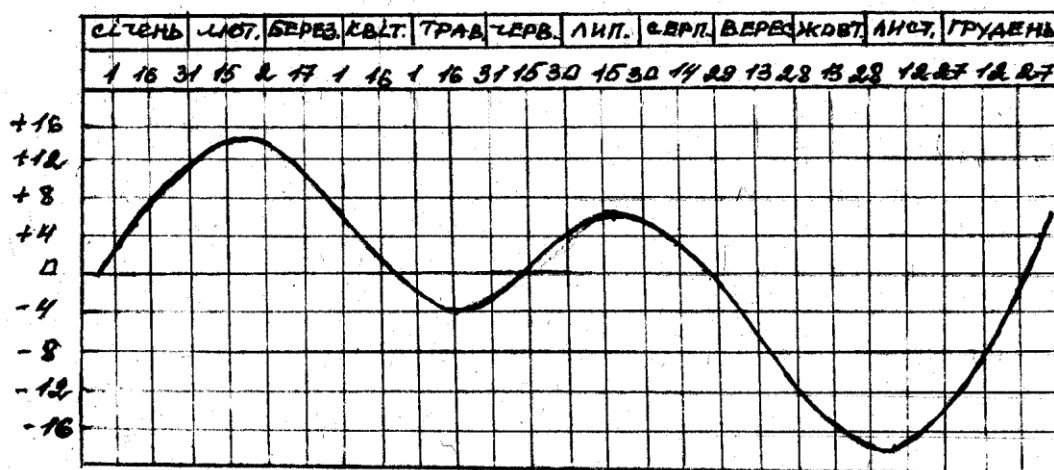


Рисунок 2.18 – Графік рівняння часу

## Місцевий та поясний час

Для пунктів земної поверхні, які лежать на різних меридіанах, одне й теж світило кульмінує у різні моменти часу. Тому для кожного меридіану існує свій початок доби, свій лік часу, тобто на кожному меридіані існує свій місцевий час  $T_\lambda$ .

Для всіх пунктів, які лежать на одному й тому ж географічному меридіані, місцевий час однаковий. Різниця місцевих часів (як сонячних, так і зоряних) у двох пунктах на різних меридіанах в один і той же фізичний момент дорівнює різниці географічних довгот цих пунктів, вираженій у годинній мірі, тобто

$$S_1 - S_2 = T_{o1} - T_{o2} = T_{cep1} - T_{cep2} = \lambda_1 - \lambda_2 \quad (2.19)$$

*Місцевий час* – це середній сонячний час даного меридіану. Місцевий (середній сонячний) час Грінвічського меридіана, який прийнято за початковий або нульовий для відрахування довгот і часу, називають Всесвітнім (або універсальним) часом  $T_o$ .

Очевидно, що

$$T_\lambda = T_o + \lambda. \quad (2.20)$$

Через необмежено велику кількість місцевих часів користуватись ними в практичній діяльності складно. Для усунення цієї незручності введена система *поясного часу*, згідно з якою всю земну кулю по екватору теоретичними межами розподіляють меридіанами через  $15^\circ$  на 24 годинних пояси (від 0 до 23), середній меридіан яких називають *центральним або основним*. Так, для нульового поясу основним є Грінвічський меридіан, довгота якого  $0^\circ$ . Межі даного поясу розташовані на  $7,5^\circ$  на захід і схід від основного меридіана. Основний меридіан першого поясу –  $15^\circ$ , другого –  $30^\circ$  і т.д.

Рахунок годинних поясів іде з заходу на схід від нульового. При цьому номер годинного поясу чисельно дорівнює довготі його основного (середнього) меридіана  $\lambda_n$ :

$$n = \lambda_n : 15 \quad (2.21)$$

Для всіх пунктів, які лежать в межах одного поясу, час вважають однаковим, він відповідає середньому сонячному (або місцевому) часу основного меридіана.

Таким чином, *поясний час*  $T_n$  – це *місцевий або середній сонячний час основного меридіана*.

Для переходу від місцевого часу до поясного або назад слід скористатись співвідношенням між часом та довготою. Так, різниця між поясным часом  $T_n$  та місцевим часом  $T_\lambda$  пункту  $A$  з географічною довготою  $\lambda$  визначається як

$$T_n - T_\lambda = n - \lambda \quad (2.22)$$

Тоді

$$T_n = T_\lambda + (n - \lambda)$$

$$T_\lambda = T_n + (\lambda - n)$$

Якщо  $\lambda = 0$ , то  $T_n = T_o + n$

У формулах різниця  $(n - \lambda)$  виражена в годинній мірі.

На території СНД виділено 11 поясів (2-12 включно).

Вся Європейська територія СНД охоплена двома годинними поясами – другим та третім, територія України – другим годинним поясом. Дванадцятий пояс – межа зміни дат. Його основний меридіан ( $180^\circ$  півн. д.) вважають за *демаркаційну лінію* між західною та східною півкулями.

З 16 червня 1930 року на території колишнього СРСР було запроваджено декретний час  $T_\delta$ , який дорівнює поясному часу, збільшеному на 1 годину:

$$T_\delta = T_n + 1^h = T_o + n + 1^h \quad (2.23)$$

Відмінність у декретному часі  $T_{\delta 2}$  та  $T_{\delta 1}$  двох годинних поясів  $n_1$  та  $n_2$  визначають із співвідношення

$$T_{\delta 2} - T_{\delta 1} = n_1 - n_2 \quad (2.24)$$

У будь-якому пункті з географічною довготою  $\lambda$  декретний час зв'язаний з місцевим залежністю

$$T_\delta - T_\lambda = (n - \lambda) + 1^h \quad (2.25)$$

Декретний час другого годинного поясу називають Московським часом  $T_m$ . Він відрізняється від Грінвічського (всесвітнього) часу  $T_o$  на 3 години.

$$T_m = T_o + 3^h \quad (2.26)$$

Щоб від поясного часу перейти до всесвітнього, потрібно від поясного відняти номер поясу, а якщо врахувати декретний час, потрібно відняти ще одну годину

$$T_o = T_\partial - n - 1^h. \quad (2.27)$$

Слід відмітити, що з 1991 року в Україні скасовано декретний час. В практичній діяльності, в тому числі і в транспорті та зв'язку, використовується поясний час, який відповідає середньому сонячному часу меридіану  $30^0$ , на якому знаходиться місто Київ. Тому його ще називають Київським часом.

До речі, по поясному часу живуть і інші європейські держави.

З 1981 року переведенням стрілки на одну годину вперед в останню неділю березня вночі на всій території України, а також і в інших державах СНД, переходять до літнього часу. У цей період Київський час  $T_k$  дорівнює

$$T_k = T_o + 3^h, \quad (2.28)$$

а Московський  $T_m$

$$T_m = T_o + 4^h. \quad (2.29)$$

Літній час відмінюють в останній тиждень вересня.

Отже, для потреб метеорології, як і в практичному житті, користуються сонячним часом: істинним, середнім, місцевим, поясним та декретним. Внаслідок виконання завдань студент повинен опанувати існуючі системи ліку часу, придбати навичку переходу від однієї системи до іншої.

*Для перевірки рівня засвоєних знань слід відповісти на наступні запитання*

1. Що таке зоряний час?
2. Що таке істинний час та істинна сонячна доба?
3. Чим вимірюється час в межах зоряної та істинної доби?
4. Чому в суспільно-виробничому житті користуються середнім сонячним часом? Що таке середнє Сонце?
5. Що таке істинний південь, середній південь?
6. Що таке «рівняння часу»? В яких межах воно змінюється?
7. Як перейти від істинного сонячного часу до середнього сонячного часу?
8. Дайте визначення місцевого, всесвітнього, поясного, декретного часу.
9. На яких меридіанах час більший, менший?
10. Що таке демаркаційна лінія часу і де вона проходить?

## 2.1.9 Послідовність розв'язання деяких практичних задач

### Визначення часу сходу та заходу світил

Для розрахунку часу сходу та заходу світил звертаємося до вже відомої нам формули

$$\sin h = \cos z = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos t,$$

в якій беруть участь екваторіальні та географічні координати.

Розв'язання має зміст тільки при умові

$$-(90^\circ - \varphi) < \delta < (90^\circ - \varphi)$$

оскільки в інших випадках світило буде незахідним, або несхідним.

Годинний кут  $t$  світила при його сході й заході обчислюється за формулою

$$\cos t = \frac{\cos z - \sin \varphi \sin \delta}{\cos \varphi \cos \delta}$$

яка здобута з (2.1).

Для сходу (заходу), коли зенітна відстань  $z = 90^\circ$  (оскільки  $z = 0^\circ$ ), формула приймає вигляд:

$$\cos t = - \frac{\sin \varphi \sin \delta}{\cos \varphi \cos \delta} = - \operatorname{tg} \varphi \operatorname{tg} \delta$$

Азимут  $A$  точок сходу та заходу визначається з формули:

$$\sin A = \sin t = \frac{\cos \delta}{\cosh} = \sin t \frac{\cos \delta}{\sin z}$$

із (2.2) для  $h = 0$ .

$$\cos A = - \frac{\sin \delta}{\cos \varphi} = - \sin \varphi \sin \delta$$

Точкові світила (зірки та планети) при сході та заході помітні на істинному горизонті, і їх видима зенітна відстань  $z' = 90^\circ$ , а істинна зенітна відстань  $z = 90^\circ + \rho$ , де  $\rho = 35'$  – середня рефракція на горизонті.

Томі у формулі слід думати  $z = 90^\circ 35'$ .

Моменти сходу та заходу світил обчислюються по зоряному часу:



$$S = \alpha + t,$$

а потім переводяться в прийняту систему відліку часу.

Моментами сходу та заходу Сонця вважають час появи з-за істинного горизонту та зникнення за істинним горизонтом його верхнього краю, видима зенітна відстань якого  $z'=90^{\circ}$ .

У ці моменти центр сонячного диску  $r_o$  – радіус сонячного диску (дорівнює  $16'$ , отже в формулі слід приймати  $z=90^{\circ}51'$ ).

Момент сходу та заходу Сонця спочатку обчислюється по середньому сонячному часу

$$T_{сер} = t_o + 12^h + \eta ,$$

$t_o$  – годинний кут істинного Сонця,  $\eta$  – рівняння часу, а потім переводиться в прийняту систему відліку часу.

### **Приклади розв'язання задач по перетворенню небесних координат**

*Задача 1.* Зобразити положення світила  $M$  на небесній сфері за його горизонтальними координатами ( $h = 45^{\circ}$ ,  $A = 60^{\circ}$ ) і визначити графічним способом його екваторіальні координати  $\delta$  і  $t$  на цей момент. Спостерігач знаходиться на широті  $50^{\circ}$ .

#### *Розв'язання*

На небесній сфері зобразити лінію виска і істинний горизонт. Знаходження світила на небесній сфері починають з визначення його азимуту. Для цього по колу істинного горизонту в напрямку годинної стрілки від точки  $S$  відкладають азимут  $A = 60^{\circ}$ . Це дозволяє з'ясувати положення вертикала світила, тобто дуги, яка проходить через зеніт  $Z$  та світило  $M$  і перетинає істинний горизонт в точці  $M'$ . По вертикалу світила від точки  $M'$  відкладається його висота  $h = 45^{\circ}$  і таким чином заходиться точка  $M$  – положення світила на небесній сфері. Для визначення екваторіальних координат світила в першій екваторіальній системі необхідно побудувати площину небесного екватору. Для цього на основі теореми про висоту полюса світу над горизонтом проводять вісь світу з нахилом до горизонту під кутом, який дорівнює широті даного місця (за умовою задачі  $\varphi = 50^{\circ}$ ). Далі будують коло схилення світила, яке проходить через світило  $M$  і полюси світу  $P$  і  $P'$ . Точка перетину  $M''$  цього кола з небесним екватором дозволяє визначити годинний кут світила  $t$  – це дуга  $QM''$  небесного екватору від точки  $Q$  до кола схилення світила. Частина дуги кола схилення світила від небесного екватору до точки  $M$  є його схиленням  $\delta$ , тобто кутова відстань від площини небесного екватору.

Для орієнтування в градусних вимірюваннях необхідно позначити положення точок  $E$  і  $W$  та пам'ятати, що відстані між точками  $N, E, S, W$  на істинному горизонті, а також між точками  $Q, W, Q', E$  на небесному екваторі дорівнюють  $90^\circ$ . Виконання цієї задачі надано на рисунку 2.19.

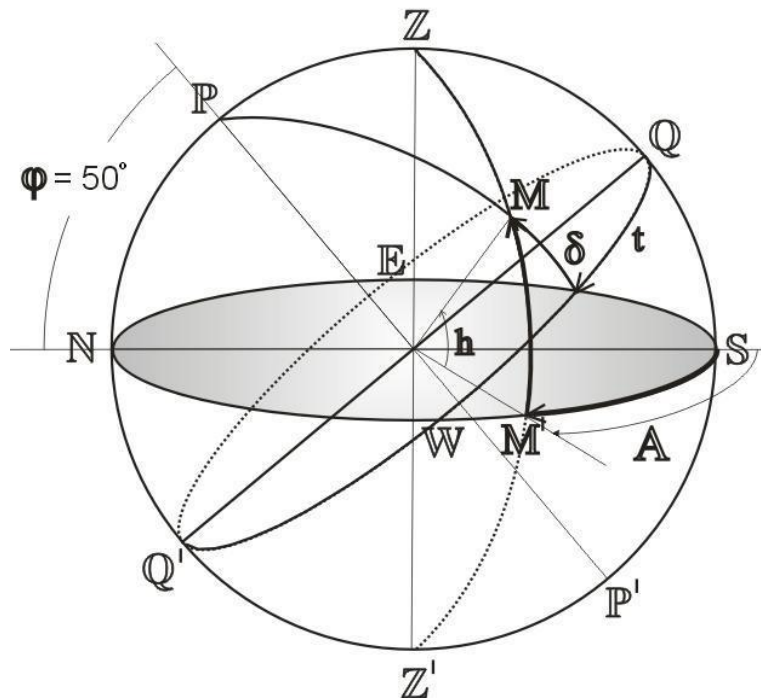


Рисунок 2.19 – До розв'язання задачі 1

*Задача 2.* Зобразити положення світила  $M$  на небесній сфері за його екваторіальними координатами  $\delta = 30^\circ$ ,  $t = 60^\circ$  та визначити графічним способом його горизонтальними координатами  $h$  і  $A$  на цей момент. Спостерігач знаходиться на широті  $40^\circ$ .

#### *Розв'язання*

На небесній сфері зобразити лінію виска і істинний горизонт, а також вісь світу, яку нахилити під кутом  $40^\circ$  до горизонту (згідно з теоремою про висоту полюса світу над горизонтом). Далі будується небесний екватор  $QQ'$ . Знаходження світила на небесній сфері починають з визначення його годинного кута  $t$ . Для цього по колу небесного екватору в напрямку годинної стрілки від точки  $Q$  відкладають годинний кут  $t = 60^\circ$ . Це дозволяє з'ясувати положення кола схилення світила, тобто дуги, яка проходить через світило  $M$  та полюси світу  $P$  і  $P'$ , і перетинає небесний екватор в точці  $M''$ . По колу схилення світила від точки  $M''$  відкладається його схилення  $\delta = 30^\circ$  і таким чином заходиться точка  $M$  – положення світила на небесній сфері. Для визначення горизонтальних координат світила необхідно провести через зеніт  $Z$  і світило  $M$  його вертикал, який перетинає істинний горизонт в точці  $M'$ . Дуга істинного горизонту  $SM'$

визначає азимут світила  $A$ . Частина дуги вертикала світила від істинного горизонту до точки  $M$  є його висота  $h$ , тобто кутова відстань світила від площини істинного горизонту. Для орієнтування в градусних вимірюваннях необхідно позначити положення точок  $E$  і  $W$  та пам'ятати, що відстані між точками  $N, E, S, W$  на істинному горизонті, а також між точками  $Q, W, Q', E$  на небесному екваторі дорівнюють  $90^\circ$ . Виконання цієї задачі надано на рисунку 2.20.

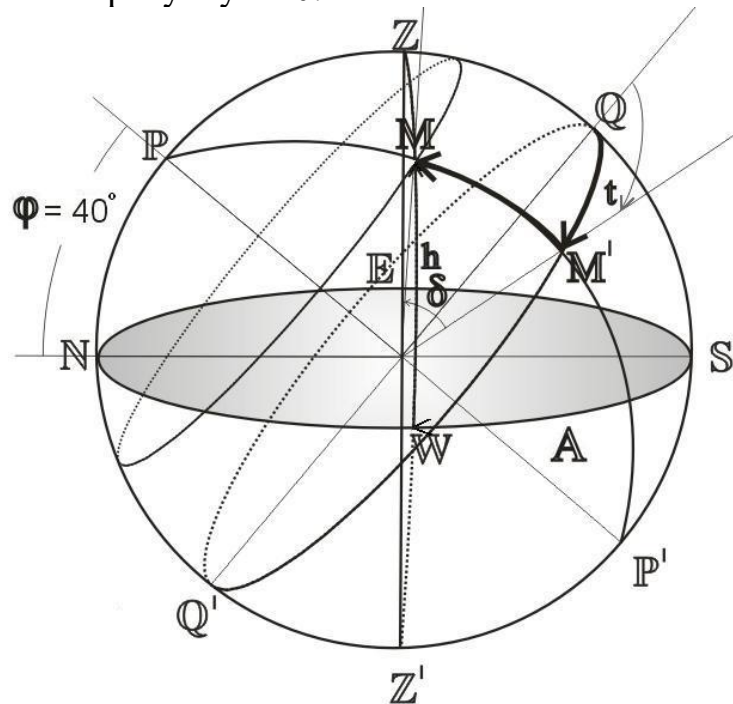


Рисунок 2.20 – До розв'язання задачі 2

### Приклади розв'язання задач з оцінки умов видимості світил

*Завдання.* Охарактеризувати режим добового руху світила на широті  $\varphi$ , схилення якого  $\delta$ .

Перш за все необхідно зобразити траєкторію добового руху світила на небесній сфері.

*Розв'язання* цієї задачі залежить від місцезнаходження спостерігача, тобто широти  $\varphi$ , яка зумовлює нахил осі світу до горизонту і, таким чином, нахил небесного екватору до горизонту  $(90 - \varphi)^\circ$ . Це визначає нахил площини, в якій відбувається добовий рух світила до горизонту, бо вона проходить паралельно небесному екватору. Площина добового руху світила розташована від екватору на кутовій відстані, яка дорівнює схиленню світила. Якщо схилення світила від'ємне, то траєкторія його добового руху

буде знаходитись в південній півкулі, а якщо додатне, то траєкторія добового руху світила проходить в північній півкулі.

Слід пам'ятати, що двічі за добу траєкторія добового руху світила перетинає небесний меридіан (в моменти верхньої та нижньої кульмінацій), і саме тоді вертикал і коло схилення світила співпадають з небесним меридіаном. Тому по небесному меридіану, як по колу схилення світила, від точки  $Q$  і  $Q'$  відкладають величину схилення світила  $\delta$  і дістають точки  $M$  і  $M'$ . З'єднавши ці точки, визначають положення діаметру кола добового руху світила і графічно зображають саме це коло.

Виконавши графічне побудування, треба дати відповіді на наступні запитання:

1. В якій частині горизонту сходить і заходить будь-яке світило?
2. Що більше: тривалість його перебування над горизонтом чи під горизонтом?
3. Оцінити його висоту в моменти верхньої і нижньої кульмінацій.
4. Визначити горизонтальні координати світила на момент, коли його годинний кут дорівнює  $45^\circ$ .

*При відповіді на перше запитання слід врахувати схилення світила, тому що всі світила, які належать північній півкулі ( $\delta > 0$ ) сходять і заходять на горизонті зі зміщенням до півночі; якщо світила належить південній півкулі ( $\delta < 0$ ), то воно сходить і заходить зі зміщенням до півдня.*

*При відповіді на друге запитання теж слід враховувати якій півсфері належить світило: якщо  $\delta > 0$ , то добова паралель світила розташована в північній півкулі і його шлях над горизонтом перебільшує шлях під горизонтом; якщо  $\delta < 0$ , то добова паралель світила розташована в південній півкулі і його шлях над горизонтом менший ніж під горизонтом.*

*При відповіді на третє запитання слід враховувати співвідношення між широтою місця спостереження і схиленням світила. Якщо  $\delta < \varphi$ , то для розрахунку висоти світила в верхній кульмінації використовується формула (2.10) ,*

*якщо  $\delta > \varphi$ , то використовується формула (2.11).*

*Якщо  $\delta = \varphi$ , то  $h_v = 90^\circ$ , тобто світило знаходиться в зеніті.*

Розрахунок висоти світил в нижній кульмінації відбувається за формулою (2.14).

*При відповіді на четверте запитання слід знайти світило на добовій паралелі в момент, коли його годинний кут дорівнює  $45^\circ$ . Для цього від точки  $Q$  небесного екватора слід «на око» відкласти (в напрямку годинної стрілки) по колу небесного екватора дугу  $QM'$ , яка дорівнює  $45^\circ$ . Через точки  $P$  і  $M'$  провести коло схилення світила, перетинання якого з*

траєкторією його руху дає положення точки М (самого світила) на добовій паралелі. Для визначення горизонтальних координат необхідно через точки z і М провести вертикал світила.

### Задачі з теми «Час та його вимірювання»

#### *Переведення середнього часу в істинний (сонячний) час та навпаки*

Для переведу середнього часу в істинний та навпаки використовують співвідношення

$$T_{сер} = t_o + \eta + 12^h; \quad (2.10)$$

де  $T_{сер}$  – середній час,  $t_o$  – годинний кут Сонця (істинний сонячний час),  $\eta$  – рівняння часу.

Для розрахунку середнього часу, який відповідає моменту істинного сонячного часу для заданої дати, необхідно по астрономічному календарю або графіку рівняння часу визначити значення  $\eta$  та виконати розрахунки.

При переході від середнього сонячного часу до істинного результат розрахунку може виявитись від'ємним. Зважаючи на те, що годинний кут, яким вимірюють істинний сонячний час, не має дати, для вилучення від'ємного значення до здобутого результату додають 24 години.

Приклад 1. Визначити середній час  $T_{сер}$ , який відповідає моменту істинного сонячного часу  $t_o = 11^h 45^m$  26.07.1982 р.

Розв'язання. Для заданої дати по графіку рівняння часу (див. рис. 2.20) або по таблиці А.1 дістаємо значення рівняння часу. В даному випадку  $\eta = 6^m 24^s$ . Далі по (2.10) розраховуємо:

$$T_{сер} = 11^h 45^m + 6^m 24^s + 12^h = 23^h 51^m 24^s \quad (26.07.1982 \text{ р.})$$

Приклад 2. Визначити істинний сонячний час, який відповідає середньому часу  $T_{сер} = 5^h 17^m 12^s$  11.11.1982 р.

Розв'язання. З (2.10) визначаємо

$$T_o = T_{сер} - 12^h - \eta \quad (2.11)$$

Обране значення  $z = 14^m 20^s$ . Підставимо усі значення в (2.11). Здобутий результат має знак мінус. Тепер до правої частини рівняння треба додати 24 години. Дістанемо:

$$t_o = 5^h 17^m 12^s - 12^h - 14^m 20^s + 24^h = 17^h 02^m 52^s \quad (11.11.1982 \text{ р.})$$

### *Перевід часу з одного меридіану на другий*

Час у даному географічному пункті може бути визначений відносно часу на меридіані Грінвіча.

$$T_{\lambda} = T_o + \lambda \quad (2.12)$$

де  $T_{\lambda}$  – середній місцевий час даного пункту,  $T_o$  – всесвітній час (середній час на меридіані Грінвіча),  $\lambda$  – довгота географічного пункту, яка виражена в годинній мірі.

При цьому слід пам'ятати, що східна довгота  $\lambda_e$  вважається додатною, а західна  $\lambda_w$  – від'ємною, і що на східних меридіанах час більший, а на західних – менший.

Оскільки календар, яким ми користуємось, обчислюється за середнім часом, то до моменту часу слід завжди дописувати дату.

Приклад 3. Визначити середній місцевий час  $T_{\lambda}$  на метеорологічній станції, довгота якої  $\lambda_e = 94^{\circ}57'45''$  у момент, коли в Грінвічі середній час  $T_o = 23^h15^m40^s$  (20.10).

Розв'язання. Виразимо довготу пункту в одиницях часу:

$$94^{\circ}57'45'' = 6^h19^m51^s$$

І по (2.12), знаючи, що метеорологічна станція знаходиться на сході від нульового меридіана, знайдемо:

$$T_o = 23^h15^m40^s \quad (20 \text{ жовтня})$$

$$+ \\ \lambda_w = 6^h19^m51^s$$

$$\hline T_{\lambda} = 29^h35^m31^s \quad (20 \text{ жовтня})$$

Оскільки місцевий час вийшов більше 24 годин, то від результату необхідно відняти 24 години, тобто добу, і дістанемо середній місцевий час наступної доби:

$$T_{\lambda} = 5^h35^m31^s \quad (21 \text{ жовтня})$$

Приклад 4. Визначити середній місцевий час  $T_{\lambda}$  пункту А, довгота якого

$\lambda_w = 147^{\circ}16'30''$ , в момент, коли в Грінвічі середній час  $T_o = 2^h15^m26^s$  (15. 05).

Розв'язання. Довгота в одиницях часу  $\lambda_w = 9^h 49^m 06^s$ . Пункт знаходиться на захід від нульового меридіану, тобто значення часу віднімають від значення  $T_o$ . В даному випадку час на меридіані Грінвіча менше довготи пункту А, тому до нього треба додати 24 години і вважати  $T_o = 26^h 15^m 26^s$  (14.05.). В результаті маємо:

$$\begin{array}{r} T_o = 26^h 15^m 26^s \\ - \\ \lambda_w = 9^h 49^m 06^s \\ \hline T = 16^h 26^m 20^s \end{array} \quad (14 \text{ травня})$$

### *Перевід поясного і декретного часу в середній або істинний час та навпаки*

Середній час на меридіані Грінвіча  $T_o$  (всесвітній час) це також і поясний час нульового поясу. Пояс, який лежить на схід від Грінвіча, позначається  $n_e$  і вважається додатним, а на захід –  $n_w$  і вважається від'ємним.

Номер годинного поясу визначають діленням значення довготи даного пункту на  $15^0$ . Якщо при діленні остача виявиться меншою ніж  $7,5^0$ , тоді частка береться за номер поясу.

Наприклад,  $\lambda = 125^0$ , тоді номер поясу  $n = 125^0 : 15^0 = 8$  (і  $5^0$  в остачі).

Якщо при діленні остача виявиться більшою ніж  $7,5^0$ , тоді номер поясу буде на одиницю більше знайденої частки. Так, пункт з  $\lambda = 130^0$  лежить в 9 – ому поясі, бо  $130^0 : 15^0 = 8$  (і в остачі  $10^0$ ).

Тоді  $n = 8 + 1 = 9$ . При цьому слід мати на увазі, що фактичні межі поясу в окремих випадках не збігаються з меридіанами, тому слід керуватися спеціальною картою годинних поясів.

Поясний час даного поясу  $n$  (даного пункту) пов'язаний з всесвітнім часом співвідношенням

$$T_n = T_o + n \quad (2.13)$$

Підставляючи в (2.13) значення  $T_o$  з (2.12), дістанемо

$$T_n = T_l - \lambda + n \quad (2.14)$$

або

$$T_l = T_n + \lambda - n \quad (2.15)$$

Приклад 5. Визначити поясний час в Єкатеринбурзі, довгота якого  $\lambda = 60^{\circ}36'$ , в момент, коли у Грінвічі середній час  $T_o = 13^h 45^m$  (28 лютого).

Розв'язання. Розрахуємо номер годинного поясу для Єкатеринбурга  $60^{\circ}36'$ :  $15^{\circ} = 4$  (остача  $0^{\circ}36'$ ) і застосуємо формулу (2.13).

Оскільки Єкатеринбург розташований на схід від Грінвіча, дістанемо

$$T_n = 13^h 45^m + 4^h = 17^h 45^m \quad (28 \text{ лютого})$$

Приклад 6. Визначити місцевий час  $T_n$  метеорологічної станції А в момент, коли поясний час на ній  $T_n = 14^h 42^m 23^s$  (17 травня). Довгота станції  $\lambda_e = 94^{\circ}57'45''$ .

Тут можливі два варіанти розв'язання:

I-й варіант. Визначимо номер пояса  $n$ , в якому розташована метеорологічна станція А, і переведемо довготу станції у годинну міру:

$$94^{\circ} 57' 45'' : 15^{\circ} = 6 \quad (\text{остача } 4^{\circ} 57' 45'')$$

$$94^{\circ} 57' 45'' = 6^h 19^m 51^s$$

З (8) дістанемо:

$$T_n = 14^h 42^m 23^s + 6^h 19^m 51^s - 6^h = 15^h 02^m 14^s \quad (17 \text{ травня})$$

II-й варіант. Поясний час – це місцевий час основного (або центрального) меридіану даного часового поясу, а довгота центрального меридіану 6-го поясу, в якому знаходиться станція, дорівнює  $15^{\circ} \times 6 = 90^{\circ}$ , тоді поясний час на станції відповідає місцевому часу на меридіані  $90^{\circ}$ . Станція має довготу  $\lambda_e = 94^{\circ}57'45''$ , тобто лежить на схід від центрального меридіану на  $4^{\circ} 57'45''$  або на  $19^m 51^s$ .

Перетворивши (2.15), дістанемо

$$T_n = T_n + (\lambda - n)$$

Таким чином,

$$T_n = 14^h 42^m 23^s + 19^m 51^s = 15^h 02^m 14^s \quad (17 \text{ травня})$$

Приклад 7. На метеорологічній станції А з довготою  $\lambda_e = 120^{\circ}$  визначити, яким моментам поясного декретного часу буде відповідати московський час, який дорівнює 3,9 та 15 годинам.

Розв'язання. Станція А знаходиться в 8-му годинному поясі. Її декретний поясний час відповідає часу 9-го поясу.

Московський час, тобто декретний час 2-го годинного поясу, відповідає часу 3-го поясу. Різниця в часі в цих годинних поясах складає 6



годин. На станції московського часу 3,6 та 15 годин відповідають моменти поясного декретного часу : 9,15 та 21 година.

### **Задачі для самостійної роботи з теми «Час та його вимірювання»**

#### ***Переведення середнього часу в істинний сонячний та навпаки***

1. Визначити середній час  $T_{сер}$ , що відповідає моменту істинного часу  $t_o = 8^h 36^m$  (26.07.1986 р.).

Відповідь:  $T_{сер} = 20^h 42^m$  (25.07.1986 р.).

2. Визначити істинний сонячний час, що відповідає середньому сонячному часу

$T_{сер} = 18^h 24^m$  (17.05.1986 р.).

Відповідь:  $t_o = 6^h 28^m$ .

#### ***Переведення часу з одного меридіана на інший***

1. На метеорологічній станції, довгота якої,  $\lambda_e = 83^{\circ}19'$ ,  $T_{\lambda} = 14^h 23^m 48^s$  (16 січня)

Визначити всесвітній час  $T_o$  в даний момент.

Відповідь:  $T_o = 8^h 50^m 32^s$  (16 січня)

2. В Новосибірську, довгота якого  $\lambda_e = 82^{\circ}51'$ ,  $T_{\lambda 1} = 3^h 10^m 16^s$  (05 вересня). Визначити відповідне йому  $T_{\lambda 2}$  в Одесі, довгота якої  $\lambda_{e2} = 30^{\circ}45'$

Відповідь:  $T_{\lambda 2} = 23^h 41^m 52^s$  (04 вересня).

3. Різниця довгот ( $\lambda_1 - \lambda_2$ ) Новочеркаська та Санкт–Петербурга дорівнює  $9^{\circ}48'$ . Яка різниця місцевих часів в цих двох містах?

Відповідь:  $T_{\lambda 1} - T_{\lambda 2} = 39^m 12^s$

4. Істинний сонячний час в Грінвічі (або годинний кут Сонця)  $t_o = 10^h 17^m 31^s$ , в той же момент в Москві істинний сонячний час  $t_o = 12^h 47^m 31^s$ . Чому дорівнює довгота Москви?

Відповідь:  $37^{\circ}34'15''$ .

**Переведення поясного та декретного часу в середній або істинний місцевий час та навпаки**

1. Поясний час в 3–му годинному східному поясі  $T_{n3} = 13^h 48^m$  (12 жовтня). Визначити в цей же момент поясний час в 9–му східному поясі.  
Відповідь:  $T_{n9} = 19^h 48^m$  (12 жовтня).
2. Визначити середній місцевий час  $T_\lambda$  в Ташкенті, довгота якого  $\lambda_e = 69^{\circ}18'$ , в момент, коли поясний час в Ташкенті  $T_n = 8^h 54^m 50^s$  (19 жовтня).  
Відповідь:  $T_\lambda = 8^h 32^m 02^s$  (19 жовтня).
3. Визначити поясний час  $T_n$  метеостанції, довгота якої  $\lambda_e = 76^{\circ}57'$ , в момент, коли середній місцевий час  $T_\lambda = 20^h 18^m 50^s$  (15 червня).  
Відповідь:  $T_n = 20^h 11^m 02^s$  (15 червня).
4. Визначити поясний час  $T_n$  Куйбишева в момент верхньої кульмінації істинного Сонця 22 червня. Довгота Куйбишева  $\lambda_e = 50^{\circ}06'$ . Рівняння часу в цей день  $\eta = + 1^m 40^s$ .  
Відповідь:  $T_n = 11^h 41^m 16^s$  (22 червня).

Для розв'язання задач з теми “Час та його вимірювання” всі допоміжні таблиці наведено в Додатку А.

## 2.2 Перелік завдань на контрольну роботу

### 2.2.1 Загальні поради по виконанню контрольної роботи

Студенти заочного факультету виконують контрольну роботу після вивчення теоретичного курсу і проробки практичної частини. Контрольна робота складається з 5 завдань, які наведено нижче. У кожному завданні варіанти задач відповідають останній цифрі номера залікової книжки.

*1. Виконати переведення одиниць вимірювання на сфері від градусної міри до годинної та навпаки.*

Варіанти задач для самостійної роботи з переводу одиниць вимірювань дуг на сфері з годинної системи в градусну і навпаки

1	$3^h 15^m 26^s$	i	$35^0 26' 30''$
2	$14^h 41^m 53^s$	i	$10^0 26' 15''$
3	$5^h 32^m 15^s$	i	$350^0 15' 45''$
4	$1^h 5^m 45^s$	i	$240^0 30' 20''$
5	$20^h 10^m 03^s$	i	$182^0 20' 45''$
6	$4^h 08^m 30^s$	i	$272^0 42' 45''$
7	$1^h 17^m 25^s$	i	$83^0 03' 50''$
8	$12^h 36^m 50^s$	i	$215^0 28' 15''$
9	$2^h 52^m 18^s$	i	$14^0 21' 15''$
0	$16^h 2^m 1^s$	i	$47^0 53' 27''$

П. Виконати побудову небесної сфери (Зобразити графічно небесну сферу) з її елементами для різних широт Земної кулі.

Варіанти широт  $\varphi$ :

1.  $\varphi = 10^\circ$  і  $\varphi = 60^\circ$  ;
2.  $\varphi = 0^\circ$  і  $\varphi = 40^\circ$
3.  $\varphi = 20^\circ$  і  $\varphi = 90^\circ$
4.  $\varphi = 30^\circ$  і  $\varphi = 70^\circ$
5.  $\varphi = 40^\circ$  і  $\varphi = 90^\circ$
6.  $\varphi = 0^\circ$  і  $\varphi = 90^\circ$
7.  $\varphi = 20^\circ$  і  $\varphi = 50^\circ$
8.  $\varphi = 10^\circ$  і  $\varphi = 70^\circ$
9.  $\varphi = 30^\circ$  і  $\varphi = 60^\circ$
0.  $\varphi = 10^\circ$  і  $\varphi = 60^\circ$

Ш. Виконати перетворення небесних координат відповідно наведеним варіантам.

Варіант 1 а) . Для пункту з широтою  $\varphi = 30^0$  визначити висоту та азимут світила за відомими екваторіальними координатами  $\delta = 25^0$  та  $t = 50^0$  . Роботу виконати графічною побудовою небесної сфери.

б) Для пункту з широтою  $\varphi = 60^0$  визначити схилення та годинний кут  $t$  світила за відомими горизонтальними координатами  $h = 60^0$ ,  $A = 50^0$ . Роботу виконати графічно побудовою небесної сфери.

Варіант 2. а) Для пункту з широтою  $\varphi = 50^0$  визначити висоту та азимут світила за відомими екваторіальними координатами  $\delta = 30$  та  $t = 50^0$  . Роботу виконати графічною побудовою небесної сфери.

б) Для пункту з широтою  $\varphi = 40^\circ$  визначити схилення та годинний кут  $t$  світила за відомими горизонтальними координатами  $h = 40^\circ$ ,  $A = 40^\circ$ . Роботу виконати графічно побудовою небесної сфери.

Варіант 3. . а) Для пункту з широтою  $\varphi = 25^\circ$  визначити висоту та азимут світила за відомими екваторіальними координатами  $\delta = 50^\circ$  та  $t = 50^\circ$  . Роботу виконати графічною побудовою небесної сфери.

б) Для пункту з широтою  $\varphi = 60^\circ$  визначити схилення та годинний кут  $t$  світила за відомими горизонтальними координатами  $h = 60^\circ$ ,  $A = 50^\circ$ . Роботу виконати графічно побудовою небесної сфери.

Варіант 4. а) Для пункту з широтою  $\varphi = 45^\circ$  визначити висоту та азимут світила за відомими екваторіальними координатами  $\delta = 25^\circ$  та  $t = 30^\circ$  . Роботу виконати графічною побудовою небесної сфери.

б) Для пункту з широтою  $\varphi = 40^\circ$  визначити схилення та годинний кут  $t$  світила за відомими горизонтальними координатами  $h = 30^\circ$ ,  $A = 50^\circ$ . Роботу виконати графічно побудовою небесної сфери.

Варіант 5. .а) Для пункту з широтою  $\varphi = 50^\circ$  визначити висоту та азимут світила за відомими екваторіальними координатами  $\delta = 25^\circ$  та  $t = 30^\circ$  . Роботу виконати графічною побудовою небесної сфери.

б) Для пункту з широтою  $\varphi = 30^\circ$  визначити схилення та годинний кут  $t$  світила за відомими горизонтальними координатами  $h = 50^\circ$ ,  $A = 50^\circ$ . Роботу виконати графічно побудовою небесної сфери.

Варіант 6. .а) Для пункту з широтою  $\varphi = 20^\circ$  визначити висоту та азимут світила за відомими екваторіальними координатами  $\delta = 20^\circ$  та  $t = 50^\circ$  . Роботу виконати графічною побудовою небесної сфери.

б) Для пункту з широтою  $\varphi = 80^\circ$  визначити схилення та годинний кут  $t$  світила за відомими горизонтальними координатами  $h = 60^\circ$ ,  $A = 40^\circ$ . Роботу виконати графічно побудовою небесної сфери.

Варіант 7. .а) Для пункту з широтою  $\varphi = 50^\circ$  визначити висоту та азимут світила за відомими екваторіальними координатами  $\delta = 25^\circ$  та  $t = 50^\circ$  . Роботу виконати графічною побудовою небесної сфери.

б) Для пункту з широтою  $\varphi = 50^\circ$  визначити схилення та годинний кут  $t$  світила за відомими горизонтальними координатами  $h = 30^\circ$ ,  $A = 50^\circ$ . Роботу виконати графічно побудовою небесної сфери.

Варіант 8. а). Для пункту з широтою  $\varphi = 10^\circ$  визначити висоту та азимут світила за відомими екваторіальними координатами  $\delta = 25^\circ$  та  $t = 40^\circ$ . Роботу виконати графічною побудовою небесної сфери.

б) Для пункту з широтою  $\varphi = 40^\circ$  визначити схилення та годинний кут  $t$  світила за відомими горизонтальними координатами  $h = 20^\circ$ ,  $A = 50^\circ$ . Роботу виконати графічно побудовою небесної сфери.

Варіант 9. а). Для пункту з широтою  $\varphi = 50^\circ$  визначити висоту та азимут світила за відомими екваторіальними координатами  $\delta = 50^\circ$  та  $t = 50^\circ$ . Роботу виконати графічною побудовою небесної сфери.

б) Для пункту з широтою  $\varphi = 0^\circ$  визначити схилення та годинний кут  $t$  світила за відомими горизонтальними координатами  $h = 60^\circ$ ,  $A = 50^\circ$ . Роботу виконати графічно побудовою небесної сфери.

Варіант 0. а) Для пункту з широтою  $\varphi = 15^\circ$  визначити висоту та азимут світила за відомими екваторіальними координатами  $\delta = 15^\circ$  та  $t = 50^\circ$ . Роботу виконати графічною побудовою небесної сфери.

б) Для пункту з широтою  $\varphi = 70^\circ$  визначити схилення та годинний кут  $t$  світила за відомими горизонтальними координатами  $h = 20^\circ$ ,  $A = 40^\circ$ . Роботу виконати графічно побудовою небесної сфери.

*IV. Дати характеристику добового руху Сонця на одній з широт Земної кулі в один із сезонів року.*

При цьому виконати наступне:

1. Вказати схилення Сонця.
2. Зобразити на небесній сфері траєкторію його добового руху (рисунок).
3. Вказати, в якій частині горизонту сходить і заходить Сонце. Пояснити чому. Вказати положення цих точок на добовій паралелі.
4. З'ясувати, яке співвідношення між тривалістю дня і ночі?
5. Розрахувати та показати на рисунку висоту Сонця опівдні (в полудень) та опівночі (тобто в верхній і нижній кульмінаціях).
6. З'ясувати, чи може Сонце на Вашій широті опівдні знаходитись в зеніті.
7. Покажіть на Вашому рисунку положення Сонця на добовій паралелі в момент, коли його годинний кут дорівнює:  $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $180^\circ$ .
8. Визначити горизонтальні координати Вашого Сонця на момент, коли його годинний кут дорівнює  $45^\circ$  (графічно).

Варіанти для виконання роботи:

1. широта  $0^\circ$  в день літнього сонцестояння;  
широта  $70^\circ$  в день весняного рівнодення.
2. широта  $10^\circ$  в день зимового сонцестояння;  
широта  $80^\circ$  в день осіннього рівнодення.
3. широта  $20^\circ$  в день весняного рівнодення;  
широта  $90^\circ$  в день літнього сонцестояння.
4. широта  $0^\circ$  в день зимового сонцестояння;  
широта  $30^\circ$  в день осіннього рівнодення.
5. широта  $40^\circ$  в день літнього сонцестояння;  
широта  $90^\circ$  в день зимового сонцестояння.
6. широта  $0^\circ$  в день весняного рівнодення;  
широта  $80^\circ$  в день літнього сонцестояння.
7. широта  $20^\circ$  в день літнього сонцестояння;  
широта  $50^\circ$  в день осіннього рівнодення.
8. широта  $20^\circ$  в день зимового сонцестояння;  
широта  $70^\circ$  в день осіннього рівнодення.
9. широта  $0^\circ$  в день осіннього рівнодення;  
широта  $60^\circ$  в день літнього сонцестояння.
0. широта  $10^\circ$  в день весняного рівнодення;  
широта  $30^\circ$  в день літнього сонцестояння.

## Додаток А

Таблиця А.1- Схилення Сонця ( $\delta^\circ$ ) і рівняння часу ( $\tau_{хв,сек}$ )

Дати		Схилення $\delta^\circ$	Рівняння часу ( $\tau$ )		Дати		Схилення $\delta^\circ$	Рівняння часу ( $\tau$ )	
Місяць	день		хв.	сек.	місяць	день		хв.	сек.
Січень	1	- 23.11	+ 3	01	липень	1	+ 23.21	+ 3	34
	6	- 22.66	+ 5	20		6	+ 22.74	+ 4	28
	11	- 22.02	+ 7	29		11	+ 22.14	+ 5	14
	16	- 21.20	+ 9	24		16	+ 21.44	+ 5	50
	21	- 20.21	+11	03		21	+ 20.56	+ 6	13
	26	- 19.06	+12	23		26	+ 19.54	+ 6	22
	31	- 17.76	+23	23		31	+ 18.38	+ 6	16
Лютий	1	- 17.49	+ 13	33	серпень	1	+ 18.12	+ 6	13
	6	- 16.04	+ 14	08		6	+ 16.82	+ 5	48
	11	- 14.47	+ 14	23		11	+ 15.40	+ 5	09
	16	- 12.81	+ 14	18		16	+ 13.88	+ 4	16
	21	- 11.05	+ 13	56		21	+ 12.26	+ 3	11
	26	- 9.23	+ 13	17		26	+ 10.56	+ 1	53
						31	+ 8.80	+ 0	25
Березен ь	1	- 7.73	+ 12	36	вересень	1	+ 8.44	+ 0	06
	6	- 5.81	+ 11	32		6	+ 6.60	- 1	32
	11	- 3.86	+ 10	17		11	+ 4.72	- 3	14
	16	- 1.89	+ 8	54		16	+ 2.81	- 5	00
	21	+ 0.08	+ 7	26		21	+ 0.87	- 6	46
	26	+ 2.05	+ 5	56		26	- 1.08	- 8	30
	31	+ 4.01	+ 4	25					

Продовження таблиці А.1

Дати		Схилення $\delta^\circ$	Рівняння часу ( $\tau$ )		Дати		Схилення $\delta^\circ$	Рівняння часу ( $\tau$ )	
Місяць	день		хв.	сек.	місяць	день		хв.	сек.
Квітень	1	+ 4.39	+ 4	06	жовтень	1	- 3.03	- 10	10
	6	+ 6.30	+ 2	37		6	- 4.96	- 11	44
	11	+ 8.17	+ 1	13		11	- 6.87	- 13	07
	16	+ 9.98	- 0	04		16	- 8.47	- 14	18
	21	+ 11.73	- 1	11		21	- 10.56	- 15	15
	26	+ 13.39	- 2	08		26	- 12.31	- 15	56
						31	- 13.98	- 16	19
Травень	1	+ 14.96	- 2	53	листопад	1	- 14.31	- 16	21
	6	+ 16.43	- 3	25		6	- 15.87	- 16	21
	11	+ 17.78	- 3	43		11	- 17.32	- 15	59
	16	+ 19.01	- 3	46		16	- 18.65	- 15	16
	21	+ 20.11	- 3	35		21	- 19.83	- 14	11
	26	+ 21.06	- 3	10		26	- 20.87	- 12	48
	31	+ 21.86	- 2	33					
Червень	1	+ 22.00	- 2	25	грудень	1	- 21.75	- 11	05
	6	+ 22.62	- 1	36		6	- 22.45	- 9	07
	11	+ 23.06	- 0	40		11	- 22.97	- 6	54
	16	+ 23.34	+ 0	23		16	- 23.31	- 4	32
	21	+ 23.45	+ 1	28		21	- 23.44	- 2	04
	26	+ 23.38	+ 2	33		26	- 23.39	+ 0	26
						31	-23.13	+ 2	52