

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

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до практичних занять

**з дисципліни „Геофізика з основами астрономії”
(розділ „Основи астрономії”)
для бакалаврів I року денної та заочної форм навчання**

Спеціальність: „Науки про Землю”

Освітньо-професійна програма «Гідрометеорологія»

Спеціальність: „Геодезія та землеустрій”

Освітньо-професійна програма «Землеустрій і кадастр»

Одеса 2022

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

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до практичних занять
з дисципліни „Геофізика з основами астрономії”
(розділ „Основи астрономії”)
для бакалаврів I року денної та заочної форм навчання**

Спеціальність: „Науки про Землю”
Освітньо-професійна програма «Гідрометеорологія»

Спеціальність: „Геодезія та землеустрій”
Освітньо-професійна програма «Землеустрій і кадастр»

Затверджено
на засіданні групи
забезпечення спеціальності
«Науки про Землю»
Протокол № 2
від «15» вересня 2022 р.

Затверджено
на засіданні групи
забезпечення спеціальності
«Геодезія та землеустрій»
Протокол № 5
від «31» травня 2022 р.

Одеса 2022

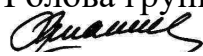
**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до практичних занять**

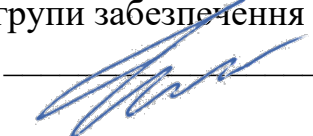
**з дисципліни „Геофізика з основами астрономії”
(розділ „Основи астрономії”)
для бакалаврів I року денної та заочної форм навчання**

Спеціальність: „Науки про Землю”
Освітньо-професійна програма «Гідрометеорологія»
Спеціальність: „Геодезія та землеустрій”
Освітньо-професійна програма «Землеустрій і кадастр»

Затверджено
на засіданні групи забезпечення спеціальності
«Науки про Землю»
Протокол № 2 від «15» вересня 2022 р.

Голова групи забезпечення
 Шакірзанова Ж.Р.

Затверджено
на засіданні групи забезпечення спеціальності
«Геодезія та землеустрій»
Протокол № 5 від «31» травня 2022 р.
Голова групи забезпечення

 Гриб О.М.

Затверджено
на засіданні кафедри метеорології та кліматології
Протокол № 10 від «23» травня 2022 р.

Завідуючий кафедри  Прокоф'єв О.М.

Одеса 2022

Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни „Геофізика з основами астрономії” (розділ «Основи астрономії») для бакалаврів I року денної та заочної форм навчання зі спеціальності «Науки про Землю» (освітньо-професійна програма «Гідрометеорологія») і спеціальності «Геодезія та землеустрій». освітньо-професійна програма «Землеустрій та кадастр»/ к. геогр. н., доц. Хоменко І.А, к.геогр.н., доц. Волошина О.В.. Одеса: ОДЕКУ, 2022. 53с.

ЗМІСТ

1	Загальна частина.....	4
1.1	Мета та задачі дисципліни.....	4
1.2	Зміст практичної частини розділу „Основи астрономії” дисципліни „Геофізика з основами астрономії”.....	4
1.3	Перелік навчальної та методичної літератури.....	5
1.4	Перелік знань та вмінь та організація навчального процесу.....	6
2	Основні елементи небесної сфери.....	7
2.1	Повчання по вивченню теми.....	7
2.2	Приклади розв’язання типових задач.....	7
2.3	Контрольні запитання до теми.....	12
2.4	Задачі для самостійного розв’язання.....	13
3	Небесні (астрономічні) координати.....	15
3.1	Повчання по вивченню теми.....	15
3.2	Приклади розв’язання типових задач.....	15
3.3	Контрольні запитання до теми.....	22
3.4	Задачі для самостійного розв’язання.....	23
4	Добове обертання небесної сфери.....	25
4.1	Повчання по вивченню теми.....	25
4.2	Приклади розв’язання типових задач.....	25
4.3	Контрольні запитання до теми.....	28
4.4	Задачі для самостійного розв’язання.....	29
5	Річний та добовий рух Сонця.....	33
5.1	Повчання по вивченню теми.....	33
5.2	Приклади розв’язання типових задач.....	33
5.3	Контрольні запитання до теми.....	37
5.4	Задачі для самостійного розв’язання.....	37
6	Час та його вимірювання.....	39
6.1	Повчання по вивченню теми.....	39
6.2	Приклади розв’язання типових задач.....	39
6.3	Контрольні запитання до теми.....	47
6.4	Задачі для самостійного розв’язання.....	48
	ДОДАТОК.....	50

1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

1.1 Мета та задачі дисципліни

Розділ «Основи астрономії» дисципліни «Геофізика з основами астрономії» є обов'язковою навчальною дисципліною для студентів бакалаврату I року навчання, що належить до фахового стандарту.

Засвоєння основних її положень базується на знаннях та вміннях, здобутих з дисциплін „Вища математика” і „Фізика”.

Основною метою дисципліни є:

- 1) засвоєння студентами теоретичними знаннями та практичними навичками, необхідних для коректного врахування астрономічних факторів при розв'язанні різних гідрометеорологічних задач.

Головним завданням дисципліни є формування у студентів цілісної системи знань з побудови Всесвіту і його впливу на процеси, які відбуваються в атмосфері і гідросфері Землі.

Методичні вказівки поділено на сім розділів. Перший розділ знайомить студента зі змістом дисципліни, організацією навчального процесу та знаннями і вміннями, які він мусить придбати під час вивчення курсу.

Другий – шостий розділи містять теми, які охоплюють практичну частину, що охоплює основні питання астрометрії, висновки якого широко застосовуються при розв'язанні багатьох гідрометеорологічних задач практичного спрямування.

До кожної теми надаються рекомендації по вивченню теми, приклади розв'язання типових задач, контрольні питання для ліпшого засвоєння матеріалу студентом, а також завдання, виконання яких дозволить студентам проконтролювати ступінь засвоєння ними матеріалу.

1.2 Зміст практичної частини БЗМ „Основи астрономії” дисципліни „Геофізика з основами астрономії”

Тема 1. Основні елементи небесної сфери.

Основні відомості зі сферичної геометрії. Основні формули сферичної тригонометрії. Небесна сфера. Основні елементи небесної сфери.

Тема 2. Небесні (астрономічні) координати.

Горизонтальна система координат. Перша та друга екваторіальні системи координат. Зв'язок між прямим сходженням та годинним кутом світила. Зв'язок між висотою полюса світу та широтою місця спостережень (теорема про висоту полюса світу над горизонтом). Паралактичний трикутник та перетворення координат.

Тема 3. Добове обертання небесної сфери

Кульмінація світил. Умови перебування світала над горизонтом. Умови сходу та заходу світил. Вид зоряного неба на різних широтах. Астрономічна рефракція.

Тема 4. Видимий річний рух Сонця.

Річний рух Сонця. Зміни екваторіальних координат Сонця протягом року. Прецесія і нутація. Явища, що спроводжують видимий річний рух Сонця.

Тема 5. Час і його вимірювання.

Зоряний час. Сонячний час. Місцевий і поясний час. Ефемеридний час. Атомний час. Зв'язок між сонячним і зоряним часом. Календар і літочислення.

1.3 Перелік навчальної та методичної літератури

Основна

1. Врублевська О.О., Катеруша Г.П., Хоменко І.А. Астрономія. ТЕС. 2010. 139 с.
2. Врублевська О.О., Гордійчук О.П. Астрономія: конспект лекцій. Вид. ОДЕКУ, 2003. 67 с.
3. Климишин І.А. Астрономія: підручник. Львів: “Світ”, 1994. 380 с.
4. Климишин І.А. Астрономія: практикум. Львів: “Світ”, 1996. 245 с.
5. www.library-odeku.l6mb.com.

Додаткова

1. Бакулин П.И., Кононович Э.В., Мороз В.И. Астрономия. Москва: «Наука», 1983. 560 с.
2. Воронцов – Вельяминов Б.А. Сборник задач и практических упражнений по астрономии. Москва: Наука. 1977.
3. Kovalevsky Jean (2012) Fundamentals of Astrometry 1st Edition. Cambridge University Press; 1st edition, 2012, 422 p. ISBN-10:0521173310

1.4 Перелік знань та вмінь

В результаті вивчення розділу «Основи астрономії» дисципліни «Геофізика з основами астрономії» студент має

знати:

- 1) елементи небесної сфери і системи астрономічних (небесних) координат;
- 2) закони видимого добового та річного руху світил і Сонця;
- 3) причини змін пір року;
- 4) основи вимірювання часу.

вміти:

- 1) проводити графічні побудови положення об'єкту на небесній сфері;
- 2) визначати моменти сходу і заходу Сонця та тривалість дня;
- 3) розраховувати висоту Сонця над горизонтом та азимут його точок сходу і заходу у різні пори року на різних широтах земної кулі;
- 4) проводити розрахунки місцевого та поясного часу для різних пунктів земної поверхні;
- 5) застосовувати отримані знання для розв'язання різноманітних гідрометеорологічних задач.

При вивченні дисципліни студент знайомиться з відповідними розділами в навчальній літературі та власних конспектах лекцій, при необхідності та за вказівкою викладача доповнюють рукопис конспектуванням.

2 ОСНОВНІ ЕЛЕМЕНТИ НЕБЕСНОЇ СФЕРИ

2.1 Повчання по вивченню теми

Перша тема (стор. 21–42, Врублевська О.О., Катеруша Г.П., Хоменко І.А. *Астрономія. ТЕС.* 2010 р., 139 с., далі *Конспект* або [1] за переліком основної навчальної і методичної літератури) знайомить студентів з основними теоретичними засадами геометрії на сфері і основними тотожностями, які зв'язують елементи фігур на сфері. В рамках теми студент ознайомлюється з математичною моделлю зоряного неба, яку використовують для вивчення зоряного неба і для розв'язання багатьох задач сферичної астрономії.

При вивченні першої теми необхідно звернути увагу на:

1. вимірювання відстаней на сфері ([1], стор. 22),
2. формування основних геометричних фігур на сфері (кут, двокутник, трикутник) - [1], стор. 23-24,
3. позначення елементів трикутника ([1], стор. 24), трикутники Ейлера ([1], стор. 25-26),
4. формули синусів, косинусів, п'яти елементів ([1], стор. 26-27);
5. принципи побудови небесної сфери ([1], стор. 31),
6. формування елементів небесної сфери ([1], стор. 34-37);
7. переведення кутових одиниць у часові та навпаки ([1], стор. 28-29);
8. нахил осі світу до площини істинного горизонту ([1], стор. 47-50);

2.2 Приклади розв'язання типових задач

Задача № 1. Центральний кут, що відповідає відстані між двома точками A і B , дорівнює 60° , радіус сфери 8000 км. Чому дорівнює відстань між точками A і B ?

Розв'язання задачі

Відстані між точками на сфері вимірюються найменшими дугами великих кіл сфери, яке проходять через ці точки. Такі дуги мають назву геодезичної лінії. Дуги, в свою чергу, вимірюються центральними кутами, яким вони відповідають, або плоскими кутами між дотичними до сторін сферичного кута в його вершині.

На рис. 2.1 можна бачити, що відстань між точками A і B вимірюється або центральним кутом AOB , або сферичним кутом ACB , який вимірюється плоским кутом між прямими k і l (дотичними до сторін сферичного кута в його вершині C).

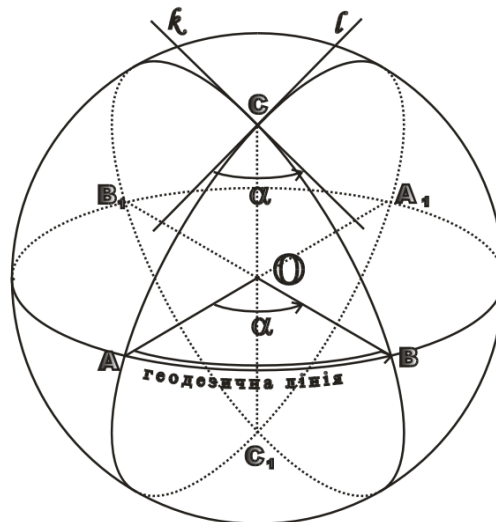


Рисунок 2.1. – Вимірювання відстаней на сфері

За умовою задачі відомо, що цей кут дорівнює 60° , або $\pi/3$ в радіанній мірі. Відомо, що становить $2\pi R$, де R – це радіус кола. Таким чином, для визначення відстані в лінійних одиницях необхідно скласти пропорцію:

$$\frac{2\pi}{\pi/3} = \frac{2\pi R}{x}$$

Звідки

$$x = \frac{2\pi R \pi/3}{2\pi} = \frac{\pi R}{3}$$

або підставляючи значення $R = 8000$ км і враховуючи значення π , отримуємо

$$x = \frac{\pi \cdot 8000 \text{ км}}{3} \approx 8378 \text{ км}$$

Відстань між точками A і B становить 8 378 км.

Задача № 2. Перевести з градусної міри у часову $35^{\circ}26'30''$, $350^{\circ}15'45''$, $10^{\circ}26'15''$, $182^{\circ}20'48''$

Відстань між точками на поверхні сфери вимірюється дугою великого кола сфери, яке проходить через ці точки. Вона може бути виражена в кутових (градусних) одиницях вимірювання або в одиницях часу. Останні особливо важливі в гідрометеорологічних дослідженнях при визначенні часу на різних довготах земної кулі для співставлення строків проведення актинометричних та метеорологічних спостережень.

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

$$24^{\text{h}} = 360^{\circ}$$

$1^{\text{h}} = 15^{\circ}$	$1^{\circ} = 4^{\text{m}}$
$1^{\text{m}} = 15'$	$1' = 4^{\text{s}}$
$1^{\text{s}} = 15''$	$1'' = 1/15^{\text{s}}$

При переводі з градусної міри в часову можна скористатись простим правилом:

а) число градусів поділити 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 поділити на 15 – частка від ділення дає число хвилин часу. Залишок помножити на 4 – дістанемо секунди часу (другий рядок схеми переводу);

в) число секунд дуги поділити на 15 – одержимо число секунд часу. Залишок подається десятими частками секунди (третій рядок схеми переводу).

$ \begin{array}{r} 1. \quad 35^{\circ}26'30'' \quad - \quad 2^{\text{h}} \quad 20^{\text{m}} \\ \phantom{1. \quad 35^{\circ}26'30'' \quad - \quad 2^{\text{h}} \quad 20^{\text{m}}} \quad 01^{\text{m}} \quad 44^{\text{s}} \\ \phantom{1. \quad 35^{\circ}26'30'' \quad - \quad 2^{\text{h}} \quad 20^{\text{m}}} \phantom{01^{\text{m}}} \quad 02^{\text{s}} \\ \hline 2^{\text{h}} \quad 21^{\text{m}} \quad 46^{\text{s}} \end{array} $	$ \begin{array}{r} 2. \quad 350^{\circ}15'45'' \quad - \quad 23^{\text{h}} \quad 20^{\text{m}} \\ \phantom{2. \quad 350^{\circ}15'45'' \quad - \quad 23^{\text{h}} \quad 20^{\text{m}}} \quad 01^{\text{m}} \quad 0^{\text{s}} \\ \phantom{2. \quad 350^{\circ}15'45'' \quad - \quad 23^{\text{h}} \quad 20^{\text{m}}} \phantom{01^{\text{m}}} \quad 2^{\text{s}} \\ \hline 23^{\text{h}} \quad 21^{\text{m}} \quad 3^{\text{s}} \end{array} $
$ \begin{array}{r} 3. \quad 10^{\circ}26'15'' \quad - \quad 0^{\text{h}} \quad 40^{\text{m}} \\ \phantom{3. \quad 10^{\circ}26'15'' \quad - \quad 0^{\text{h}} \quad 40^{\text{m}}} \quad 01^{\text{m}} \quad 44^{\text{s}} \\ \phantom{3. \quad 10^{\circ}26'15'' \quad - \quad 0^{\text{h}} \quad 40^{\text{m}}} \phantom{01^{\text{m}}} \quad 01^{\text{s}} \\ \hline 0^{\text{h}} \quad 41^{\text{m}} \quad 45^{\text{s}} \end{array} $	$ \begin{array}{r} 4. \quad 182^{\circ}20'48'' \quad - \quad 12^{\text{h}} \quad 8^{\text{m}} \\ \phantom{4. \quad 182^{\circ}20'48'' \quad - \quad 12^{\text{h}} \quad 8^{\text{m}}} \quad 1^{\text{m}} \quad 20^{\text{s}} \\ \phantom{4. \quad 182^{\circ}20'48'' \quad - \quad 12^{\text{h}} \quad 8^{\text{m}}} \phantom{01^{\text{m}}} \quad 03.2^{\text{s}} \\ \hline 12^{\text{h}} \quad 9^{\text{m}} \quad 23.2^{\text{s}} \end{array} $

Задача № 3. Перевести з часової міри у градусну $14^{\text{h}} 41^{\text{m}} 53^{\text{s}}$, $1^{\text{h}} 5^{\text{m}} 45^{\text{s}}$, $5^{\text{h}} 32^{\text{m}} 15^{\text{s}}$, $0^{\text{h}} 41^{\text{m}} 45^{\text{s}}$

При переводі з часової міри в градусну діють так:

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

б) число хвилин часу ділять на 4 – частка від ділення дає ціле число градусів. Залишок множать на 15 і дістають число хвилин дуги (другий рядок схеми переводу);

в) число секунд часу ділять на 4 – отримують число хвилин дуги. Залишок множать на 15 – дістають число секунд дуги (третій рядок схеми переводу).

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

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

$$\begin{array}{r}
 3. \quad 5^{\text{h}} 32^{\text{m}} 15^{\text{s}} - 75^{\circ} \\
 \quad \quad \quad 08^{\circ} \quad 00' \\
 \quad \quad \quad \quad \quad 03' \quad 45'' \\
 \hline
 \quad \quad \quad 83^{\circ} \quad 03' \quad 45''
 \end{array}$$

$$\begin{array}{r}
 4. \quad 0^{\text{h}} 41^{\text{m}} 45^{\text{s}} - 00^{\circ} \\
 \quad \quad \quad 10^{\circ} \quad 15' \\
 \quad \quad \quad \quad \quad 11' \quad 15'' \\
 \hline
 \quad \quad \quad 10^{\circ} \quad 26' \quad 15''
 \end{array}$$

Задача № 4. Графічно зобразити небесну сферу з її елементами для різних широт $\varphi = 0^{\circ}, 45^{\circ}, 90^{\circ}$.

З'ясувати:

- на якій широті земної кулі вісь світу співпадає з полуденною лінією;
- на якій широті земної кулі полюси світу збігаються з зенітом і надиром;
- на якій широті земної кулі північний полюс світу співпадає з точкою N істинного горизонту;
- на якій широті земної кулі вісь світу співпадає з лінією виска.

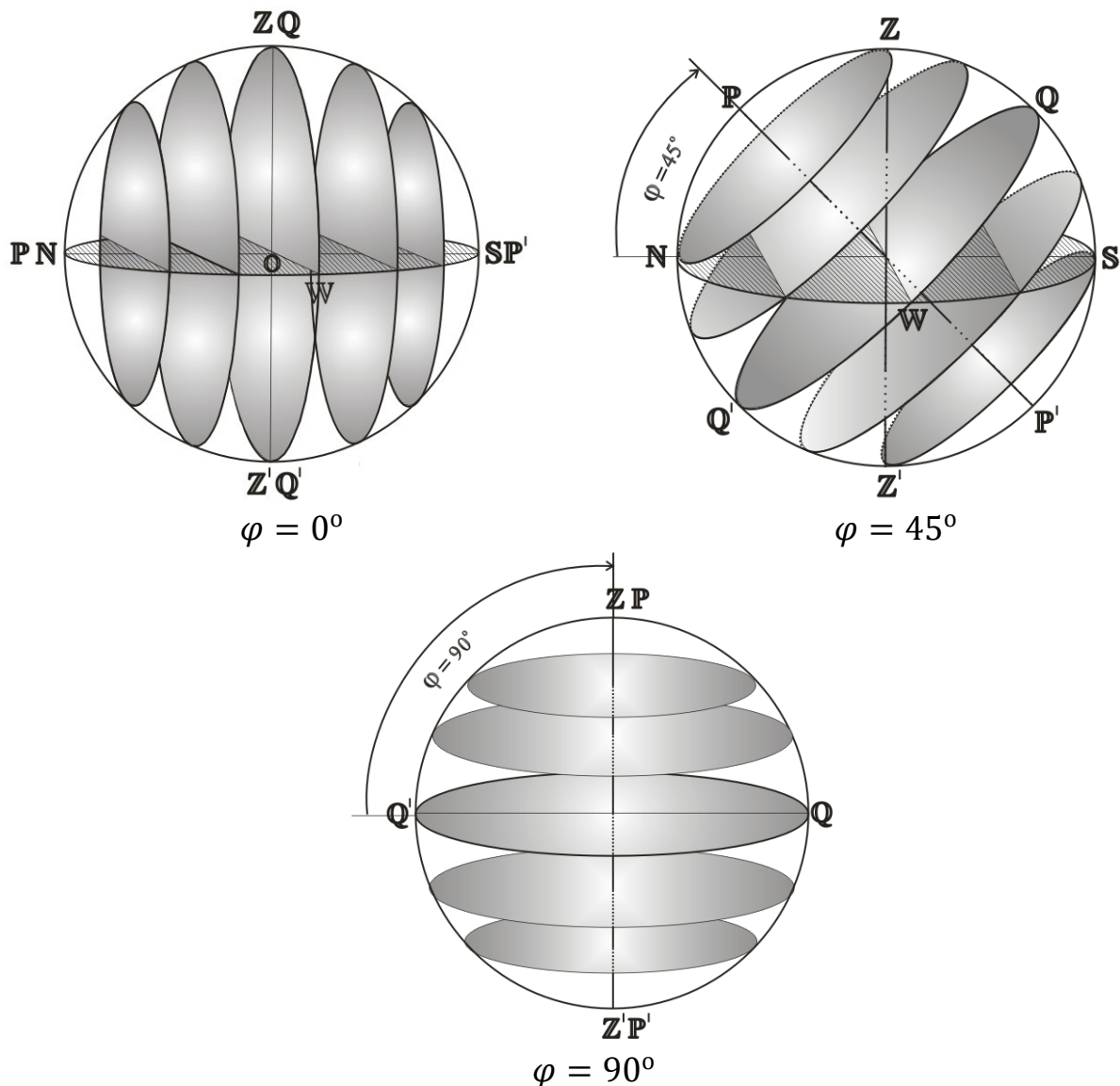
Пояснення до розв'язання завдання

Для графічного зображення небесної сфери з її елементами на будь-якій широті земної кулі побудову починають з кола довільного радіуса, в якому проводять лінію виска, яка завжди має вертикальний напрямок. Площина, що проходить через центр небесної сфери і перпендикулярна до лінії виска, утворює на її поверхні істинний горизонт.

Вісь світу проводять під кутом до горизонту, який дорівнює широті φ . Площина, що проходить через центр небесної сфери перпендикулярно до осі світу, утворює на поверхні сфери небесний екватор. Перетин побудованих великих кіл сфери утворюють певні точки на її поверхні (N, E, S, W, Q, Q').

Після графічного зображення небесної сфери відповісти на запитання, які наведені в завданні.

Розв'язання задачі



Відповіді на питання:

1. Вісь світу співпадає з полуденною лінією на широті екватора $\varphi = 0^\circ$;

2. Полюси світу збігаються з zenітом і надиром на широті північного полюсу $\varphi = 90^\circ$;
3. Північний полюс світу збігається з точкою півночі істинного горизонту на широті екватора $\varphi = 0^\circ$;
4. Вісь світу співпадає з лінією виска на широті північного полюсу $\varphi = 90^\circ$.

2.3 Контрольні запитання до теми

1. Які трикутники називають трикутниками Ейлера?
2. Які елементи сферичного трикутника пов'язують формули синусів, косинусів, п'яти елементів?
3. Як вимірюються відстані і кути на сфері?
4. Яка фігура утворюється при перетині трьох великих кіл у трьох різних точках на сфері?
5. Сума кутів у сферичному трикутнику дорівнює 600° . Чи є такий трикутник Ейлеревим?
6. Скільки великих кіл можна провести через дві точки на сфері, що не є діаметрально протилежними?
7. Скільки великих кіл можна провести через дві діаметрально протилежні точки на сфері?
8. Що обертається насправді Земля чи небесна сфера?
9. В якій точці небесної сфери знаходиться спостерігач?
10. Яка лінія небесної сфери проходить уздовж напрямку дії сили тяжіння?
11. Як називають вісь навколо якої обертається небесна сфера?
12. Яка зірка знаходиться поряд з північним полюсом світу?
13. В якому напрямку обертається небесна сфера, якщо дивитись з північного полюса світу?
14. В яких точках перетинаються істинний горизонт та небесний екватор?
15. В яких точках перетинаються істинний горизонт та небесний меридіан?
16. На які дві півкулі поділяє небесну сферу істинний горизонт?
17. Через які точки проходить істинний горизонт?
18. В яких точках перетинаються небесний екватор та небесний меридіан?
19. Як називають лінію, що з'єднує точки півночі та півдня?
20. Через які точки небесної сфери проходить небесний меридіан?
21. На які дві півкулі поділяє небесну сферу небесний меридіан?
22. Які точки утворюються при перетині небесної сфери лінією виска?
23. Чи співпадає істинний (математичний) горизонт з видимим? Відповідь обґрунтуйте.
24. На які дві півкулі поділяє небесну сферу небесний екватор?
25. Через які точки проходить небесний екватор?

2.4 Задачі для самостійного розв'язання

Задачі на визначення відстаней на сфері

1. Довжина дуги між двома точками на сфері дорівнює 160000 м, радіус сфери 50000 м. Чому дорівнює центральний кут в градусах, що відповідає цій дузі?
2. Довжина дуги між двома точками на сфері дорівнює 700000 м, центральний кут в градусах, що відповідає цій дузі, дорівнює 150° . Чому дорівнює радіус сфери?
3. Центральний кут, що відповідає відстані між двома точками А і В, дорівнює 150° , радіус сфери 6500 км. Чому дорівнює відстань між точками А і В?
4. Лінійний кут між дотичними до двох великих кіл в точці перетину дорівнює 50° . Чому дорівнює кут перетину дуг цих великих кіл?
5. В сферичному одна зі сторін дорівнює $\pi/2$, то яке число не повинна перевищувати абсолютна величина різниці інших двох сторін у цьому сферичному трикутнику?
6. Початок і кінець шляху метеора на зоряному небі відстоять від північного полюса світу на $79^{\circ}56'$ і на $155^{\circ}15'$, а кут між колами схилення, що проходять через ці точки, дорівнює 112° . Визначити довжину шляху метеора в градусах і кути, під якими його шлях перетнув два згадані кола схилення. Зробіть рисунок.
7. Початок і кінець шляху метеора на зоряному небі відстоять від північного полюса світу на $100^{\circ}2'$ і на $75^{\circ}27'$, а кут між колами схилення, що проходять через ці точки, дорівнює 80° . Визначити довжину шляху метеора в градусах і кути, під якими його шлях перетнув два згадані кола схилення. Зробіть рисунок.
8. Початок і кінець шляху метеора на зоряному небі відстоять від північного полюса світу на $95^{\circ}15'$ і на $83^{\circ}45'$, а кут між колами схилення, що проходять через ці точки, дорівнює $123^{\circ}45'$. Визначити довжину шляху метеора в градусах і кути, під якими його шлях перетнув два згадані кола схилення. Зробіть рисунок.
9. Початок і кінець шляху метеора на зоряному небі відстоять від північного полюса світу на $125^{\circ}56'$ і на $130^{\circ}14'$, а кут між колами схилення, що проходять через ці точки, дорівнює 56° . Визначити довжину шляху метеора в градусах і кути, під якими його шлях перетнув два згадані кола схилення. Зробіть рисунок.
10. Початок і кінець шляху метеора на зоряному небі відстоять від північного полюса світу на $5^{\circ}15'$ і на 95° , а кут між колами схилення, що проходять

через ці точки, дорівнює 105° . Визначити довжину шляху метеора в градусах і кути, під якими його шлях перетнув два згадані кола схилення. Зробіть рисунок.

11. Обчислити найкоротшу відстань між точками А і В на поверхні Землі, координати яких $\varphi_1 = 35^{\circ}$, $\lambda_1 = 70^{\circ}$ та $\varphi_1 = 65^{\circ}$, $\lambda_1 = 180^{\circ}$ відповідно. Землю вважати сферою радіуса 6400 км. Підказка: зробіть рисунок та побудуйте сферичний трикутник.
12. Обчислити найкоротшу відстань між точками А і В на поверхні Землі, координати яких $\varphi_1 = 50^{\circ}$, $\lambda_1 = 90^{\circ}$ та $\varphi_1 = 75^{\circ}$, $\lambda_1 = 120^{\circ}$ відповідно. Землю вважати сферою радіуса 6400 км. Підказка: зробіть рисунок та побудуйте сферичний трикутник.
13. Обчислити найкоротшу відстань між точками А і В на поверхні Землі, координати яких $\varphi_1 = 20^{\circ}$, $\lambda_1 = 20^{\circ}$ та $\varphi_1 = 75^{\circ}$, $\lambda_1 = 90^{\circ}$ відповідно. Землю вважати сферою радіуса 6400 км. Підказка: зробіть рисунок та побудуйте сферичний трикутник.
14. Обчислити найкоротшу відстань між точками А і В на поверхні Землі, координати яких $\varphi_1 = 45^{\circ}$, $\lambda_1 = 0^{\circ}$ та $\varphi_1 = 75^{\circ}$, $\lambda_1 = 60^{\circ}$ відповідно. Землю вважати сферою радіуса 6400 км. Підказка: зробіть рисунок та побудуйте сферичний трикутник.
15. Початок і кінець шляху метеора на зоряному небі відстоять від північного полюса світу на 1180 і на 100030', а кут між колами схилення, що проходять через ці точки, дорівнює 92° . Визначити довжину шляху метеора в градусах і кути, під якими його шлях перетнув два згадані кола схилення. Зробіть рисунок.

Задачі на перехід від градусної міри до часової і навпаки

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

3 НЕБЕСНІ (АСТРОНОМІЧНІ) КООРДИНАТИ

3.1 Повчання по вивченню теми

Друга тема (стор. 43–72 Конспекту) знайомить студентів з основними теоретичними засадами побудови небесних координатних систем. В рамках теми студент ознайомлюється з різними системами координат і принципами їх побудови.

При вивченні другої теми необхідно звернути увагу на:

1. методики визначення небесних координат ([1], с. 39–44), перетворення небесних координат ([1], стор. 50-54);
2. координати основних точок небесної сфери у різних системах небесних координат ([1], стор. 48-49);
3. елементи паралактичного трикутника ([1], стор. 48-52);
4. побудова паралактичного трикутника ([1], стор. 48-52);
5. перетворення горизонтальних координат в екваторіальні та навпаки ([1], стор. 48-52).

3.2 Приклади розв'язання типових задач

Задача № 1. Положення світила M на небесній сфері визначається такими горизонтальними координатами: $h = 45^\circ$, $A = 60^\circ$. Знайти графічним способом його екваторіальні координати δ і t на цей момент. Спостерігач знаходиться на широті 50° .

Розв'язання задачі

На небесній сфері зобразити лінію виска та істинний горизонт. Знаходження світила на небесній сфері починають з визначення його азимуту. Для цього по колу істинного горизонту в напрямку годинникової 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 координат необхідно побудувати площину небесного екватора. 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 екватора від точки Q до кола схилення світила. Частина дуги кола схилення світила від небесного екватора до точки M є його схиленням δ , тобто кутова відстань від площини небесного екватора. 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° . Виконання цієї задачі надано на рисунку 3.1.

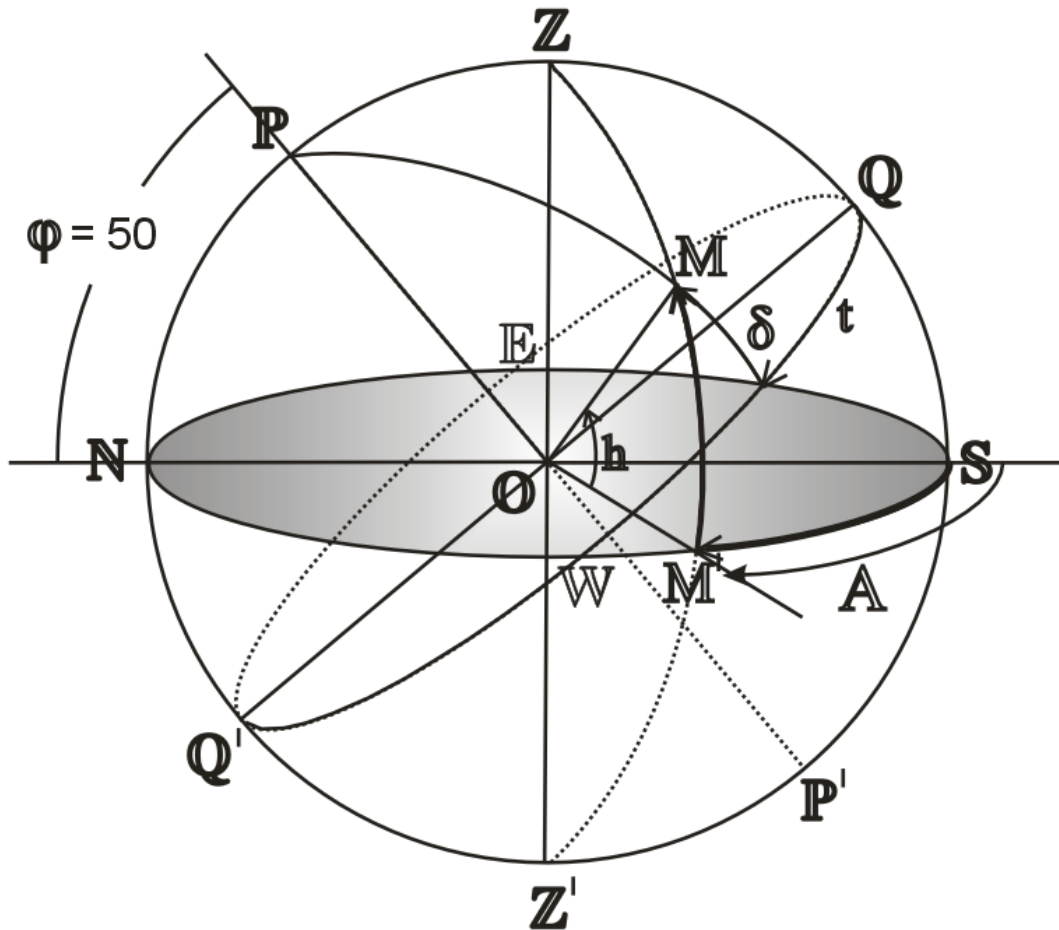


Рисунок 3.1 – До розв'язку задачі № 1

Задача № 2. Положення світила M на небесній сфері подано такими екваторіальними координатами: $\delta = 30^\circ$, $t = 60^\circ$. Визначити графічним способом його горизонтальні координати h і A на цей момент. Спостерігач знаходиться на широті 40° .

Розв'язання задачі

На небесній сфері зобразити лінію виска і істинний горизонт, а також вісь світу, яку нахилити під кутом 40° 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 .

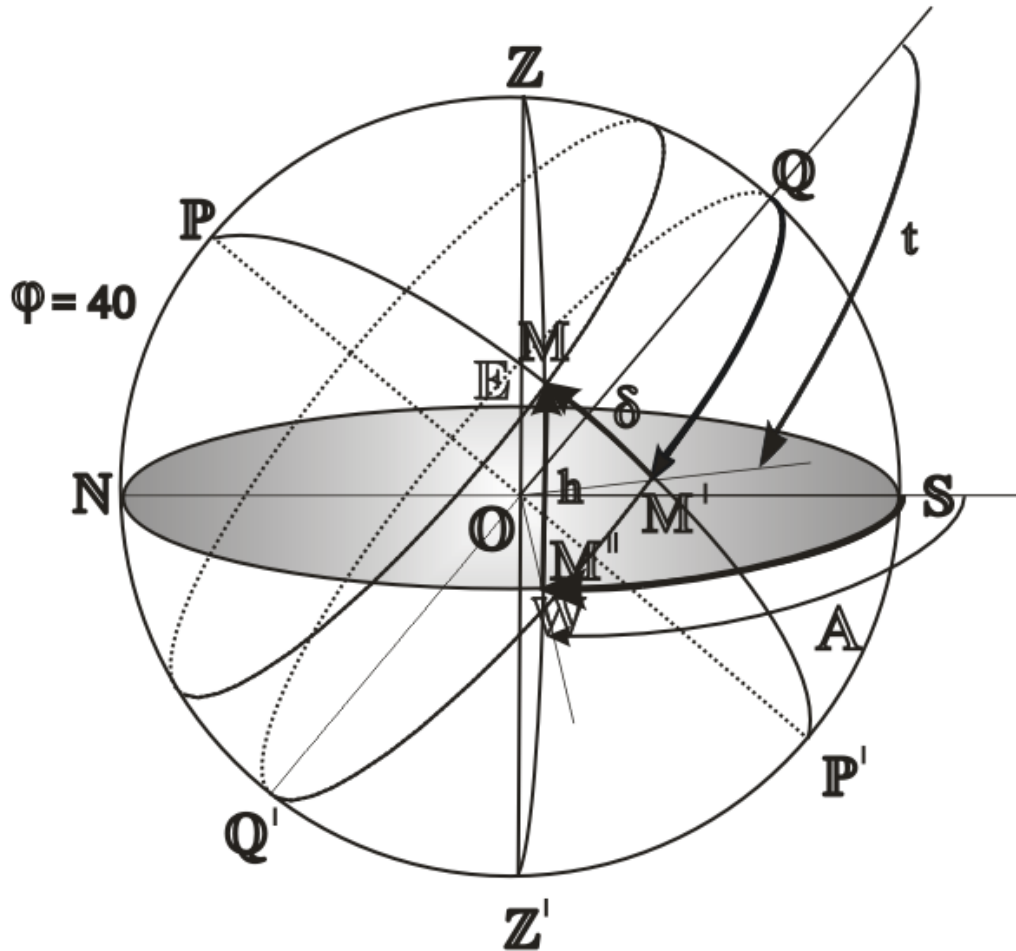


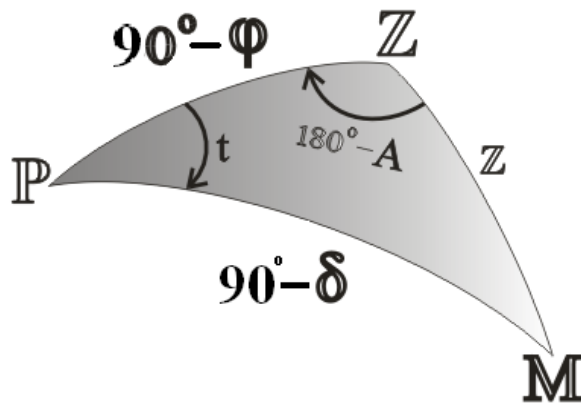
Рисунок 3.2 – До розв'язку задачі № 2

Для цього по колу небесного екватора в напрямку годинникової 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° . Виконання цієї задачі надано на рис. 3.2.

Задача № 3. Положення світила M на небесній сфері визначається такими горизонтальними координатами: $h = 45^\circ$, $A = 60^\circ$. Знайти аналітичним способом його екваторіальні координати δ і t на цей момент. Спостерігач знаходиться на широті 50° .

Нижче подано умови задачі № 3 у стислій формі запису та графічно.



Відомі характеристики:

$$\varphi = 50^\circ, h = 45^\circ, A = 60^\circ;$$

$$\square ZM = z = 90^\circ - h = 45^\circ;$$

$$\sphericalangle PZM = 180^\circ - A;$$

$$\square PZ = 90^\circ - \varphi = 45^\circ.$$

Треба знайти:

$$\sphericalangle MPZ = t;$$

$$\square PM = p = 90^\circ - \delta.$$

За формулами (4.11), (4.12), (4.13) можна обчислити δ та t . Спочатку скористаємось формулою (4.11) та знайдемо δ :

$$\sin \delta = \sin \varphi \cdot \cos z - \cos \varphi \cdot \sin z \cdot \cos A. \quad (3.1)$$

Для того щоб визначити δ достатньо однієї формули, оскільки δ змінюється в межах від 0° до $\pm 90^\circ$, а у цьому інтервалі синус визначається однозначно: кожному значенню $\sin \delta$ відповідає одне і тільки одне значення δ .

Щоб визначити кут t вже однієї формули замало, оскільки t змінюється в межах від 0° до 360° і, наприклад, одному й тому значенню синуса відповідатимуть вже два значення: t та $180^\circ - t$ і щоб визначити на яку чверть припадає t , треба визначити і $\sin t$, і $\cos t$. Для цього скористаємося формулами (4.12)–(4.14) в [1]:

$$\sin t \cdot \cos \delta = \sin z \cdot \sin A, \quad (3.2)$$

$$\cos \delta \cdot \cos t = \cos \varphi \cdot \cos z + \sin \varphi \cdot \sin z \cdot \cos A. \quad (3.3)$$

Щоб спростити розрахунки пропонуємо наступну схему: спочатку обчислити синуси та косинуси вихідних даних, а далі вже скористатись формулами (3.1)–(3.3). Округляти бажано до п'ятого знака, бо менша точність буде давати зовелику похибку у частках кутових хвилин, тобто у секундах.

$$\begin{array}{lll} \sin \varphi = \sin 50^\circ = 0.76604 & \sin z = \sin 45^\circ = 0.70711 & \sin A = \sin 60^\circ = 0.86602 \\ \cos \varphi = \cos 50^\circ = 0.64279 & \cos z = \cos 45^\circ = 0.70711 & \cos A = \cos 60^\circ = 0.50000 \end{array}$$

Таблиця 3.1 – Результати обчислень за формулами (3.1)–(3.3)

№ дії	Зміст	Результат	
1	$\cos \varphi \sin z$	0.45452	
2	$\sin \varphi \cos z$	0.54167	
3	$\cos \varphi \sin z \cos A$	0.22726	
4	$(\text{№}2) - (\text{№}3) = \sin \delta$	0.31441	
5	δ	18°.3252	18°19'.5
6	$\cos \delta$	0.94929	
7	$\sin z \sin A$	0.61237	
8	$(\text{№}7) : (\text{№}6) = \sin t$	0.64508	
9	t_1	40°.1718	40°10'.3
10	$\sin \varphi \sin z$	0.54167	
11	$\sin \varphi \sin z \cos A$	0.27084	
12	$\cos \varphi \cos z$	0.45452	
13	$(\text{№}11) + (\text{№}12)$	0.72536	
14	$(\text{№}13) \div (\text{№}6) = \cos t$	0.76411	
15	t_2	40°.1721	40°10'.3

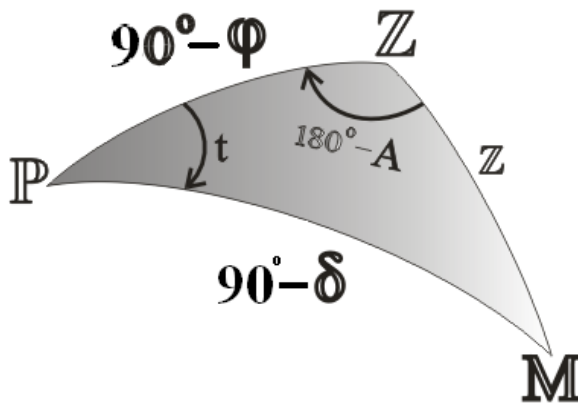
Примітка. У таблиці (графа «Зміст») вказано номери рядків

У підсумку розрахунків визначено t_1 і t_2 – два значення годинного кута t . Оскільки отримані значення синуса та косинуса годинного кута додатні, то t належить до першої чверті, і приймається його значення $40^{\circ}10'.3$ без будь-яких виправлень.

Задача № 4. Положення світила M на небесній сфері подано такими екваторіальними координатами: $\delta = 30^{\circ}$, $t = 60^{\circ}$. Визначити аналітичним способом його горизонтальні координати h і A на цей момент. Спостерігач знаходиться на широті 40° .

Розв'язання задачі

Нижче подано умови задачі № 4 у стислій формі запису та графічно.



Відомі характеристики:

$$\varphi = 40^{\circ}, \delta = 30^{\circ}, t = 60^{\circ};$$

$$\angle MPZ = t;$$

$$\square PM = p = 90^{\circ} - \delta;$$

$$\square PZ = 90^{\circ} - \varphi = 50^{\circ}.$$

Треба знайти:

$$\square ZM = z = 90^{\circ} - h;$$

$$\angle PZM = 180^{\circ} - A.$$

Скористаємось формулами:

$$\cos z = \sin \delta \cdot \sin \varphi + \cos \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos t, \quad (3.4)$$

$$\sin A \cdot \sin z = \sin t \cdot \cos \delta, \quad (3.5)$$

$$\sin z \cdot \cos A = -\cos \varphi \cdot \sin \delta + \sin \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos t, \quad (3.6)$$

Для того щоб визначити достатньо формули (3.4), оскільки z змінюється в межах від 0° до 180° , а у цьому інтервалі косинус визначається однозначно: кожному значенню $\cos z$ відповідає одне і тільки одне значення z .

Як і у випадку з t кут A не можна визначити за однією формулою, оскільки A змінюється в межах від 0° до 360° і одному й тому ж значенню

синуса відповідатимуть два значення: A та $(180^\circ - A)$. Для того, щоб визначити на яку чверть припадає A , треба знайти $\cos A$, і $\sin A$. Для цього скористаємось формулами (3.5)–(3.6).

Розрахунки проводять за наступною схемою: спочатку обчислюють синуси та косинуси вихідних даних, а далі використовують формули (3.4)–(3.6).

$$\begin{aligned} \sin \varphi &= \sin 40^\circ = 0.64279 & \sin \delta &= \sin 30^\circ = 0.50000 & \sin t &= \sin 60^\circ = 0.86602 \\ \cos \varphi &= \cos 40^\circ = 0.76604 & \cos \delta &= \cos 30^\circ = 0.86602 & \cos t &= \cos 60^\circ = 0.50000 \end{aligned}$$

Результати розрахунків за формулами (3.4)–(3.6) містяться в таблиці, розташованій нижче.

Округлення бажано проводити до п'ятого знаку, бо менша точність буде давати велику похибку у частках кутових хвилин, тобто у секундах.

З наведених результатів розрахунків видно, що отримано два значення для азимута. З'ясуємо яке саме значення нам треба прийняти. Оскільки $\sin A$ – додатний, а $\cos A$ – від'ємний, це означає, що кут A відноситься до другої чверті. Тобто врахувати треба значення, отримане саме за $\cos A$, оскільки від 0° до 180° будь-якому значенню косинуса відповідає одне і тільки одне значення кута. Значення азимута, отримане через $\sin A$, – це насправді значення кута $(180^\circ - A)$, тобто $180^\circ - 82^\circ 3' .0 = 97^\circ 57' .0$.

Таблиця 3.2 – Результати обчислень за формулами (3.4)–(3.6)

№ дії	Зміст	Результат	
1	$\sin \varphi \cdot \sin \delta$	0.32140	
2	$\cos \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos t$	0.33170	
3	$(\text{№}1) + (\text{№}2) = \cos z$	0.65310	
4	z	49°.2243	49°13'.5
5	$\sin z$	0.75727	
6	$\sin t \cdot \cos \delta$	0.74999	
7	$(\text{№}6) : (\text{№}5) = \sin A$	0.99039	
8	A_1	82°.0503	82°3'.0
9	$\sin \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos t$	0.27833	
10	$\cos \varphi \cdot \sin \delta$	0.38302	
11	$(\text{№}9) + (\text{№}10)$	-0.10469	
12	$(\text{№}11) \div (\text{№}5) = \cos A$	-0.13825	
13	A_2	97°.9466	97°56'.8

Примітка. У таблиці (графа «Зміст») вказано номери рядків

Видно, що значення двох азимутів відрізняються одне від одного на $0'.2$. Похибки такого порядку можливі, якщо визначається значення кутів через синус та косинус. Значення кутів, які отримані через тангенс, є більш точними, тому приймається значення $A = 97^\circ 56'.8$ (саме таке значення азимуту отримано через тангенс).

3.3 Контрольні запитання до теми

1. Яка площина є основною в горизонтальній системі координат?
2. Відносно якої площини вимірюється положення світила на небесній сфері за допомогою координати «висота світила»?
3. Відносно якої площини вимірюється 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. Вказати точку відліку в II екваторіальній системі координат.
19. Дуги яких великих кіл сфери утворюють паралактичний трикутник? Зобразити його графічно на небесній сфері.

3.4 Задачі для самостійного розв'язання

Задачі до теми «Небесні координати. Перетворення небесних координат»

1. Зобразіть графічно положення світила на небесній сфері зі схиленням, $\delta = -60^0$ годинним кутом $t = 45^0$ ($\varphi = 30^0$). В якій стороні неба слід шукати це світило? Чи є воно видимим для спостерігача? Знайти горизонтальні координати даного світила. Побудувати його добову паралель. Покажіть на рисунку, яка частина добової траєкторії світила видима для спостерігача.
2. Зобразіть графічно положення світила на небесній сфері з азимутом $A = 335^0$ і висотою $h = -45^0$ ($\varphi = 45^0$). В якій стороні неба слід шукати це світило? Чи є воно видимим для спостерігача? Знайдіть його екваторіальні координати в першій екваторіальній системі координат. Побудувати його добову паралель. Покажіть на рисунку, яка частина добової траєкторії світила видима для спостерігача.
3. Зобразіть графічно положення світила на небесній сфері з азимутом $A = 180^0$ і висотою $h = 20^0$ ($\varphi = 20^0$). Яке світило може мати такі координати? Чи є воно видимим для спостерігача, якщо – так, то в якій частині неба спостерігач може його побачити? Чи має воно добову траєкторію? Визначити координати цього світила в першій екваторіальній системі координат.
4. Зобразіть графічно положення світила на небесній сфері з схиленням, $\delta = -20^0$ годинним кутом $t = 135^0$ ($\varphi = 0^0$). В якій стороні неба слід шукати це світило? Чи є воно видимим для спостерігача? Покажіть на рисунку, яка частина добової траєкторії світила видима для спостерігача. Визначити горизонтальні координати цього світила.
5. Зобразити графічно положення світила на небесній сфері з азимутом $A = 340^0$ і висотою $h = -70^0$ ($\varphi = 45^0$). Знайдіть його координати в першій екваторіальній системі координат? Чи є воно видимим для спостерігача? Зобразіть добову паралель світила. Покажіть на рисунку, яка частина добової траєкторії світила видима для спостерігача.
6. Зобразити графічно положення світила на небесній сфері з азимутом $A = 0^0$ і висотою $h = -40^0$ ($\varphi = 80^0$). Знайдіть його координати в першій екваторіальній системі координат? Чи є воно видимим для спостерігача? Опишіть, в якій частині горизонту знаходиться світило. Зобразіть добову паралель світила. Покажіть на рисунку, яка частина добової траєкторії світила видима для спостерігача.

7. Для пункту з широтою $\varphi = 30^0$ визначити азимут і висоту світила по відомих координатах $t = 6^h$, $\delta = -30^0$. В якій стороні неба слід шукати це світило? Чи є воно видимим для спостерігача? Опишіть, в якій частині горизонту знаходиться світило. Покажіть на рисунку, яка частина добової траєкторії світила видима для спостерігача.
8. Зобразіть графічно положення світила на небесній сфері з азимутом $A = 315^0$ і висотою $h = -15^0$ ($\varphi = 45^0$). В якій стороні неба слід шукати це світило? Чи є воно видимим для спостерігача? Знайдіть його екваторіальні координати в першій екваторіальній системі координат. Побудувати його добову паралель. Покажіть на рисунку, яка частина добової траєкторії світила видима для спостерігача.
9. Зобразити графічно положення світила на небесній сфері з азимутом $A = 270^0$ і висотою $h = -20^0$ ($\varphi = 30^0$). Знайдіть його координати в першій екваторіальній системі координат? Чи є воно видимим для спостерігача? Зобразіть добову паралель світила. Покажіть на рисунку, яка частина добової траєкторії світила видима для спостерігача.
10. Зобразити графічно положення світила на небесній сфері з азимутом $A = 360^0$ і висотою $h = 60^0$ ($\varphi = 50^0$). Знайдіть координати цього світила в першій екваторіальній системі координат. В якій стороні неба слід шукати це світило? Чи є воно видимим для спостерігача? Покажіть на рисунку, яка частина добової траєкторії світила видима для спостерігача.

4 ДОБОВЕ ОБЕРТАННЯ НЕБЕСНОЇ СФЕРИ

4.1 Повчання по вивченню теми

Третя тема (стор. 73–91 *Конспекту*) знайомить студентів з особливостями добового руху світил, які можна спостерігати озброєним і неозброєним оком на небесній сфері.

При вивченні третьої теми необхідно звернути увагу на:

1. вузлові точки добове траєкторії світил: верхня і нижня кульмінації, схід і захід світил ([1], стор. 64-72);
2. вид зоряного неба на різних широтах ([1], стор. 72-75);
3. визначення горизонтальних і екваторіальних координат світила у нижній і верхній кульмінаціях ([1], стор. 73-77);
4. умови, за яких світила перебувають над горизонтом і під горизонтом ([1], стор. 78-81).

4.2 Приклади розв'язання типових задач

Задача № 1. Визначити яку висоту має світило зі схиленням $\delta = 20^\circ$ у верхній і нижній кульмінації на широті $\varphi = 50^\circ$?

Розв'язання задачі

За умовою задачі $\delta < \varphi$, тоді використовується формула:

$$h_B = \delta + (90^\circ - \varphi);$$

$$h_B = 20^\circ + (90^\circ - 50^\circ) = 60^\circ;$$

$$h_H = \delta - (90^\circ - \varphi);$$

$$h_H = 20^\circ - (90^\circ - 50^\circ) = -20^\circ.$$

Світило кульмінує на південь від зеніту (рис. 4.1).

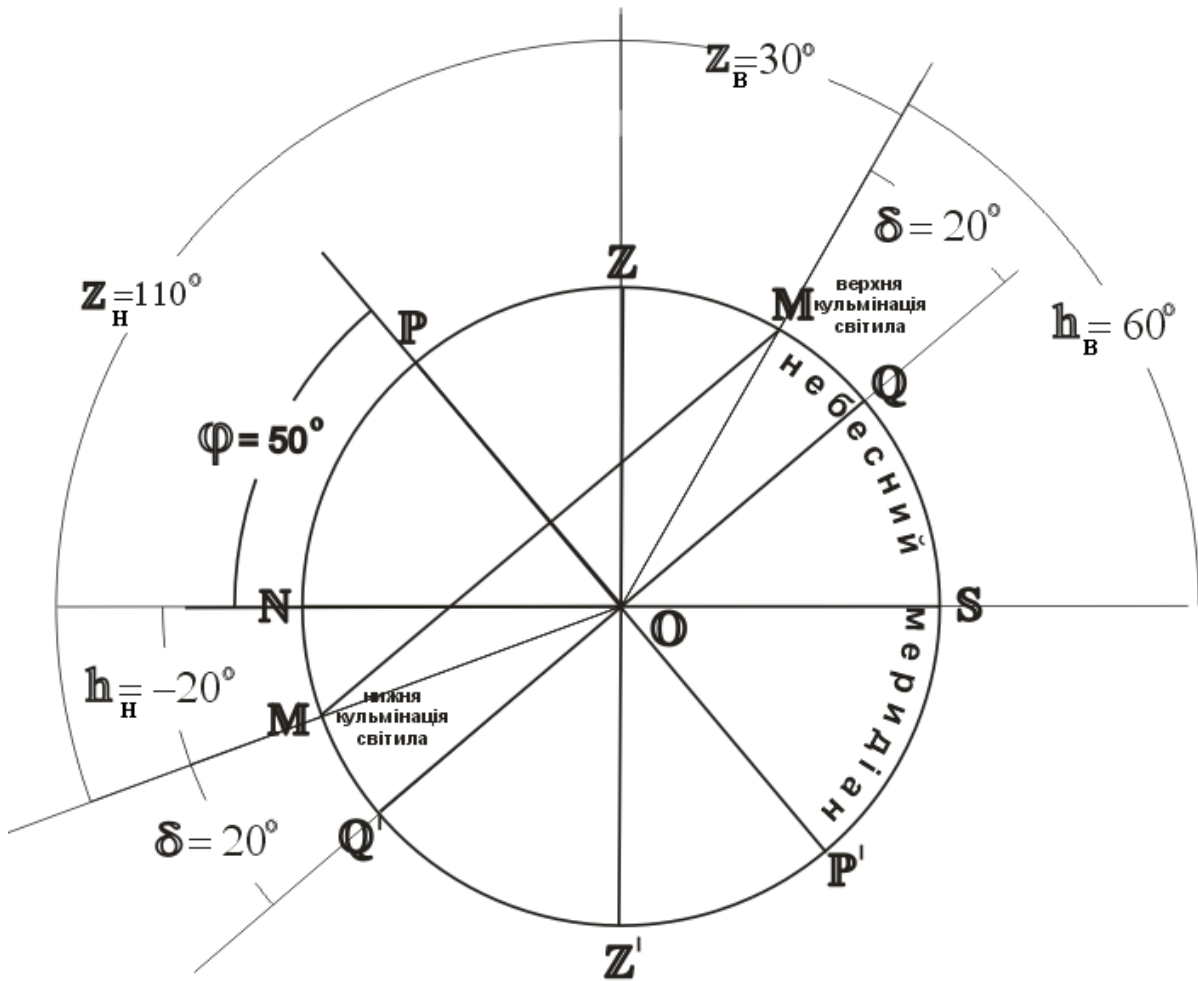


Рисунок 4.1 – Ілюстрація до задачі № 1.

Задача № 2. Визначити, яку висоту має світило зі схиленням $\delta = 45^\circ$ у верхній і нижній кульмінації на широті $\varphi = 20^\circ$?

Розв'язання задачі

Як вже зазначалось, якщо $\delta > \varphi$, то для розрахунку h_B використовується наступна формула

$$h_B = \varphi + (90^\circ - \delta);$$

$$h_B = 20^\circ + (90^\circ - 45^\circ) = 65^\circ;$$

$$h_H = \delta - (90^\circ - \varphi);$$

$$h_H = 45^\circ - (90^\circ - 20^\circ) = -25^\circ.$$

Світило кульмінує на північ від зеніту.

Задача № 3. Визначити, яку висоту має світило зі схиленням $\delta = 20^\circ$ у верхній і нижній кульмінації на широті $\varphi = 20^\circ$?

Розв'язання задачі

Відомо, що за умови $\delta = \varphi$:

$$h_B = 20^\circ + (90^\circ - 20^\circ) = 90^\circ;$$

$$h_H = 20^\circ - (90^\circ - 20^\circ) = -50^\circ.$$

У верхній кульмінації світило знаходиться в зеніті, а в нижній – на висоті 50° під горизонтом.

Задача № 4. Визначити, які світила не сходять і не заходять на $\varphi = 60^\circ$. Зобразити області несхідних та незахідних світил на рисунках.

Розв'язання задачі

Для розв'язання цієї задачі слід згадати умови сходу і заходу світил $-(90^\circ - \varphi) < \delta < (90^\circ - \varphi)$. На широті $\varphi = 60^\circ$ сходять і заходять світила, схилення яких менше 30° і більше -30° . Звідси – незахідними будуть всі світила з $\delta \geq 30^\circ$, а несхідними – всі світила з $\delta \leq -30^\circ$. На рисунку небесної сфери область незахідних і несхідних світил буде окреслена добовою паралеллю першого несхідного ($\delta = 30^\circ$) світила, яке в момент нижньої кульмінації торкається горизонту в точці N і знову підіймається над горизонтом і першого незахідного ($\delta = -30^\circ$) світила, яке в момент верхньої кульмінації торкається горизонту в точці S і знову заходить під горизонт. При виконанні завдання звернути увагу на рис. 4.1.

Задача № 5. Визначити висоту світил в момент верхньої і нижньої кульмінації на широті $\varphi = 50^\circ$, схилення яких $\delta_1 = 40^\circ$ і $\delta_2 = 60^\circ$.

Розв'язання задачі

Для розв'язання цієї задачі слід згадати формули висоти світила у верхній (5.8, 5.9) і нижній (5.14) кульмінації. Якщо схилення світила менше широти місця (перше світило), то використовується формула (5.8) і тоді $h_{B1} = 40^\circ + (90 - 50)^\circ = 80^\circ$. У другому випадку, коли схилення світила перевищує широту, використовується формула (5.9) і тоді $h_{B2} = 40^\circ + (90 - 50)^\circ = 80^\circ$. Маючи однакову висоту над горизонтом, ці світила різняться тим, що вони знаходяться в різних частинах світу: перше з них кульмінує відносно точки z зі зміщенням до півдня S , друге – зі зміщенням до півночі N . Слід зазначити, що азимут першого світила $A = 0^\circ$, а другого – $A = 180^\circ$. Годинний кут обох світил в момент верхньої кульмінації дорівнює нулю.

У нижній кульмінації згідно з формулою (5.14) перше світило має висоту $h_{H1} = 40^\circ - (90 - 50)^\circ = 0^\circ$. Звернемо увагу на те, що це перше незахідне світило, добова паралель якого є межею області незахідних світил. Висота в нижній кульмінації другого світила $h_{H2} = 60^\circ - (90 - 40)^\circ$. Це світило в нижній кульмінації знаходиться на висоті 20° над горизонтом, тобто воно теж є незахідним.

В інших співвідношеннях між географічною широтою і схиленням світила його висота в нижній кульмінації може бути від'ємною, тобто в цей момент воно знаходиться під горизонтом.

4.3 Контрольні запитання до теми

1. Які світила є невисхідними?
2. Які світила є незахідними?
3. Які світила є західними та висхідними?
4. За якої умови світила будуть незахідними та невисхідними на певній широті?
5. За якої умови світила будуть сходити та заходити на певній широті?
6. В якій частині горизонту сходитимуть та заходитимуть світила, схилення яких дорівнює 0° ?
7. В якій частині горизонту сходитимуть та заходитимуть світила, схилення яких менше за 0° ?

8. Що називають кульмінацією?
9. Яким чином розрізняють верхню та нижню кульмінації світила?
10. Де у верхній кульмінації знаходиться світило, схилення якого дорівнює широті?
11. Де у верхній кульмінації знаходиться світило, схилення якого менше за широту?
12. Де у верхній кульмінації знаходиться світило, схилення якого більше за широту?
13. За якої умови світило буде знаходитись у верхній кульмінації на південь від зеніту?
14. Яку зенітну відстань матиме світило, схилення якого дорівнює $+60^\circ$, на широті $+30^\circ$, у верхній кульмінації?
15. На широті $+50^\circ$ світило, схилення якого дорівнює 20° , буде невисхідним, незахідним чи буде сходити та заходити?
16. Під яким кутом до істинного горизонту рухаються всі світила на широті φ ?
17. Під яким кутом до істинного горизонту рухаються всі світила на широті 0° ?
18. Яким чином відносно істинного горизонту рухаються всі світила на широті 90° ?

4.4 Задачі для самостійного розв'язання

1. Обчислити зенітну відстань, висоту та азимут зірки α ($\delta = -79^\circ$, $t = 14^h 48^m$) у сузір'ї Райської Птиці (сузір'я південної півкулі) в Москві ($\varphi = 55^\circ 45'$). Зробити побудову небесної сфери, показати положення світила на небесній сфері та його добову паралель. Чи буде це світило східним на вказаній широті? Пояснити чому. Побудувати небесну сферу в проекції на небесний меридіан та вказати на рисунку які світила будуть незахідними та несхідними на цій широті. Розрахувати зенітну відстань, висоту та азимут світила у верхній та нижній кульмінаціях.
2. Обчислити зенітну відстань, висоту та азимут зірки α ($\delta = -0^\circ.3$, $t = 22^h 06^m$) у сузір'ї Водолія в Санкт–Петербурзі ($\varphi = 59^\circ 56'.6$). Зробити побудову небесної сфери, показати положення світила на небесній сфері та його добову паралель. Чи буде це світило східним на вказаній широті? Пояснити чому. Побудувати небесну сферу в проекції на небесний меридіан та вказати на рисунку які світила будуть незахідними та несхідними на цій широті. Розрахувати зенітну відстань, висоту та азимут світила у верхній та нижній кульмінаціях.

3. Обчислити зенітну відстань, висоту та азимут зірки α ($\delta = -26^{\circ}.4$, $t = 16^h 29^m$) у сузір'ї Скорпіона в Києві ($\varphi = 50^{\circ} 27'$). Зробити побудову небесної сфери, показати положення світила на небесній сфері та його добову паралель. Чи буде це світило східним на вказаній широті? Пояснити чому. Побудувати небесну сферу в проекції на небесний меридіан та вказати на рисунку які світила будуть незахідними та несхідними на цій широті. Розрахувати зенітну відстань, висоту та азимут світила у верхній та нижній кульмінаціях.
4. Обчислити зенітну відстань, висоту та азимут спіральної галактики ($\delta = -11^{\circ}.6$, $t = 12^h 40^m$) у Діви в Одесі ($\varphi = 46^{\circ} 29'$). Зробити побудову небесної сфери, показати положення світила на небесній сфері та його добову паралель. Чи буде це світило східним на вказаній широті? Пояснити чому. Побудувати небесну сферу в проекції на небесний меридіан та вказати на рисунку які світила будуть незахідними та несхідними на цій широті. Розрахувати зенітну відстань, висоту та азимут світила у верхній та нижній кульмінаціях.
5. Обчислити зенітну відстань, висоту та азимут зірки α ($\delta = -11^{\circ}.2$, $t = 13^h 25^m$) у сузір'ї Діви в Тбілісі ($\varphi = 41^{\circ} 43'$). Зробити побудову небесної сфери, показати положення світила на небесній сфері та його добову паралель. Чи буде це світило східним на вказаній широті? Пояснити чому. Побудувати небесну сферу в проекції на небесний меридіан та вказати на рисунку які світила будуть незахідними та несхідними на цій широті. Розрахувати зенітну відстань, висоту та азимут світила у верхній та нижній кульмінаціях.
6. Обчислити зенітну відстань, висоту та азимут зірки α ($\delta = +61^{\circ}.8$, $t = 11^h 04^m$) у сузір'ї Великої Ведмедиці в Архангельську ($\varphi = 64^{\circ} 35'$). Зробити побудову небесної сфери, показати положення світила на небесній сфері та його добову паралель.
7. Обчислити зенітну відстань, висоту та азимут зірки α ($\delta = -40^{\circ}.6$, $t = 19^h 23^m$) у сузір'ї Стрільця в Аддис-Абеба ($\varphi = 9^{\circ}$). Зробити побудову небесної сфери, показати положення світила на небесній сфері та його добову паралель. Чи буде це світило східним на вказаній широті? Пояснити чому. Побудувати небесну сферу в проекції на небесний меридіан та вказати на рисунку які світила будуть незахідними та несхідними на цій широті. Розрахувати зенітну відстань, висоту та азимут світила у верхній та нижній кульмінаціях.

8. Обчислити зенітну відстань, висоту та азимут зірки α ($\delta = +2^{\circ}.8$, $t = 2^h02^m$) у сузір'ї Риб в Ташкенті ($\varphi = 41^{\circ}20'$). Зробити побудову небесної сфери, показати положення світила на небесній сфері та його добову паралель. Чи буде це світило східним на вказаній широті? Пояснити чому. Побудувати небесну сферу в проекції на небесний меридіан та вказати на рисунку які світила будуть незахідними та несхідними на цій широті. Розрахувати зенітну відстань, висоту та азимут світила у верхній та нижній кульмінаціях.
9. Обчислити зенітну відстань, висоту та азимут зірки α ($\delta = -16^{\circ}.0$, $t = 14^h50^m$) у сузір'ї Терезів в Іркутську ($\varphi = 52^{\circ}16'$). Зробити побудову небесної сфери, показати положення світила на небесній сфері та його добову паралель. Чи буде це світило східним на вказаній широті? Пояснити чому. Побудувати небесну сферу в проекції на небесний меридіан та вказати на рисунку які світила будуть незахідними та несхідними на цій широті. Розрахувати зенітну відстань, висоту та азимут світила у верхній та нижній кульмінаціях.
10. Обчислити зенітну відстань, висоту та азимут зірки α ($\delta = +16^{\circ}.5$, $t = 4^h36^m$) у сузір'ї Тільця в Сімферополі ($\varphi = 45^{\circ}$). Зробити побудову небесної сфери, показати положення світила на небесній сфері та його добову паралель. Чи буде це світило східним на вказаній широті? Пояснити чому. Побудувати небесну сферу в проекції на небесний меридіан та вказати на рисунку які світила будуть незахідними та несхідними на цій широті. Розрахувати зенітну відстань, висоту та азимут світила у верхній та нижній кульмінаціях.
11. Обчислити зенітну відстань, висоту та азимут зірки α ($\delta = +31^{\circ}.9$, $t = 7^h35^m$) у сузір'ї Близнюків в Саратові ($\varphi = 51^{\circ}32'$). Зробити побудову небесної сфери, показати положення світила на небесній сфері та його добову паралель. Чи буде це світило східним на вказаній широті? Пояснити чому. Побудувати небесну сферу в проекції на небесний меридіан та вказати на рисунку які світила будуть незахідними та несхідними на цій широті. Розрахувати зенітну відстань, висоту та азимут світила у верхній та нижній кульмінаціях.
12. Обчислити зенітну відстань, висоту та азимут зірки α ($\delta = +11^{\circ}.9$, $t = 8^h58^m$) у сузір'ї Рака в пункті з $\varphi = 69^{\circ}15'$. Зробити побудову небесної сфери, показати положення світила на небесній сфері та його добову паралель. Чи буде це світило східним на вказаній широті? Пояснити чому. Побудувати небесну сферу в проекції на небесний меридіан та вказати на рисунку які світила будуть незахідними та несхідними на цій широті. Розрахувати зенітну відстань, висоту та азимут світила у верхній та нижній кульмінаціях.

13. Обчислити зенітну відстань, висоту та азимут зірки α ($\delta = -12^{\circ}.5$, $t = 20^h 18^m$) у сузір'ї Козерога в пункті з $\varphi = 2^{\circ} 16'$. Зробити побудову небесної сфери, показати положення світила на небесній сфері та його добову паралель. Чи буде це світило східним на вказаній широті? Пояснити чому. Побудувати небесну сферу в проекції на небесний меридіан та вказати на рисунку які світила будуть незахідними та несхідними на цій широті. Розрахувати зенітну відстань, висоту та азимут світила у верхній та нижній кульмінаціях.
14. Обчислити зенітну відстань, висоту та азимут зірки α ($\delta = +29^{\circ}.1$, $t = 0^h 08^m$) у сузір'ї Андромеди в пункті з $\varphi = 81^{\circ} 34'$. Зробити побудову небесної сфери, показати положення світила на небесній сфері та його добову паралель. Чи буде це світило східним на вказаній широті? Пояснити чому. Побудувати небесну сферу в проекції на небесний меридіан та вказати на рисунку які світила будуть незахідними та несхідними на цій широті. Розрахувати зенітну відстань, висоту та азимут світила у верхній та нижній кульмінаціях.
15. Обчислити зенітну відстань, висоту та азимут зірки α ($\delta = +56^{\circ}.5$, $t = 0^h 41^m$) у сузір'ї Кассіопеї в пункті з $\varphi = 86^{\circ} 55'$. Зробити побудову небесної сфери, показати положення світила на небесній сфері та його добову паралель. Чи буде це світило східним на вказаній широті? Пояснити чому. Побудувати небесну сферу в проекції на небесний меридіан та вказати на рисунку які світила будуть незахідними та несхідними на цій широті. Розрахувати зенітну відстань, висоту та азимут світила у верхній та нижній кульмінаціях.

5 РІЧНИЙ ТА ДОБОВИЙ РУХ СОНЦЯ

5.1 Повчання по вивченню третьої теми

Четверта тема (стор. 92–105 *Конспекту*) знайомить студентів з особливостями річного і добового руху Сонця.

При вивченні четвертої теми необхідно звернути увагу на:

1. зміну екваторіальних координат Сонця протягом року ([1], стор. 91-92);
2. рух Сонця на різних широтах, зокрема $\pm 90^\circ$, $\pm 63,5^\circ$, $\pm 23,5^\circ$, 0° ([1], стор. 91-96);
3. зв'язок між річним рухом Сонця на різних широтах і їх належністю до полярних, тропічних і помірних широт ([1], стор. 91-96);

5.2 Приклади розв'язання типових задач

Задача № 1. Охарактеризувати рух Сонця на широті екватора ($\varphi = 0^\circ$).

Розв'язання задачі

Протягом року з часом змінюються екваторіальні і горизонтальні координати Сонця.

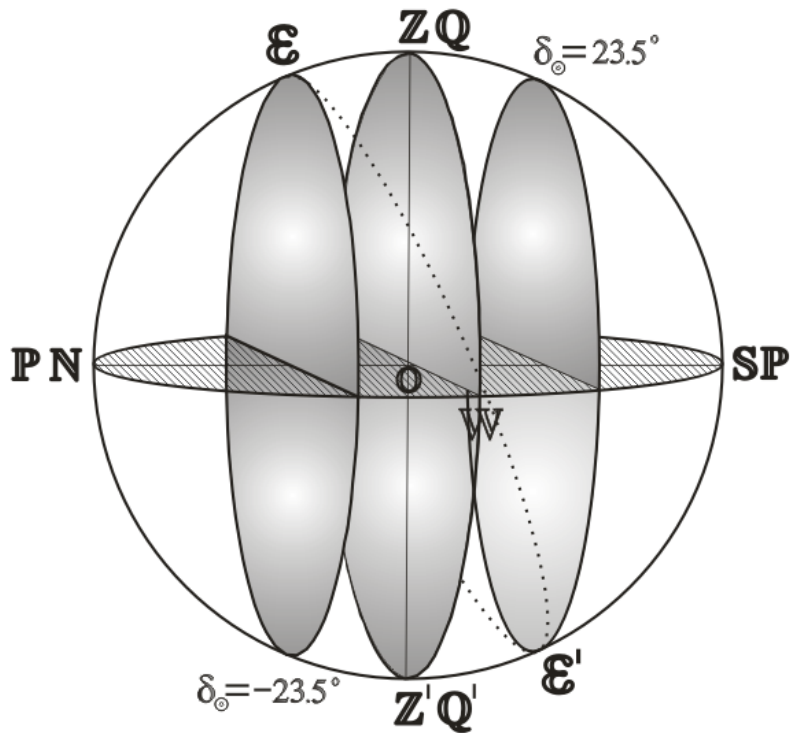


Рисунок 5.1 – Добовий рух Сонця в різні пори року на широті екватора

Так, зміна схилення Сонця δ від -23.5° до $+23.5^\circ$ визначає зміну його висоти над горизонтом даної місцевості в різні пори року, умови його сходу та заходу, тривалість дня та ночі, тобто визначає зміну картини добового руху Сонця.

На екваторі двічі на рік Сонце опівдні буває в зеніті у день весняного та осіннього рівнодення $\delta_0 = \varphi = 0^\circ$. Найменша полуденна висота тут 66.5° (22.VI кульмінація до півночі від Z, а 22.XII – до півдня від Z). Тривалість дня і ночі завжди майже однакова (рис. 5.1).

Задача № 2. Охарактеризувати рух Сонця на широті північного тропіка ($\varphi = 23.5^\circ$).

Розв'язання задачі

У районі тропіків в момент верхньої кульмінації Сонце сягає висоти 90° у день літнього сонцестояння на північному тропіку ($\delta_0 = \varphi = 23.5^\circ$) і в день зимового сонцестояння на південному тропіку ($\delta_0 = \varphi = -23.5^\circ$) – один раз на рік. Найменша полуденна висота тут становить 66.5° у день весняного та осіннього рівнодення (рис. 5.2).

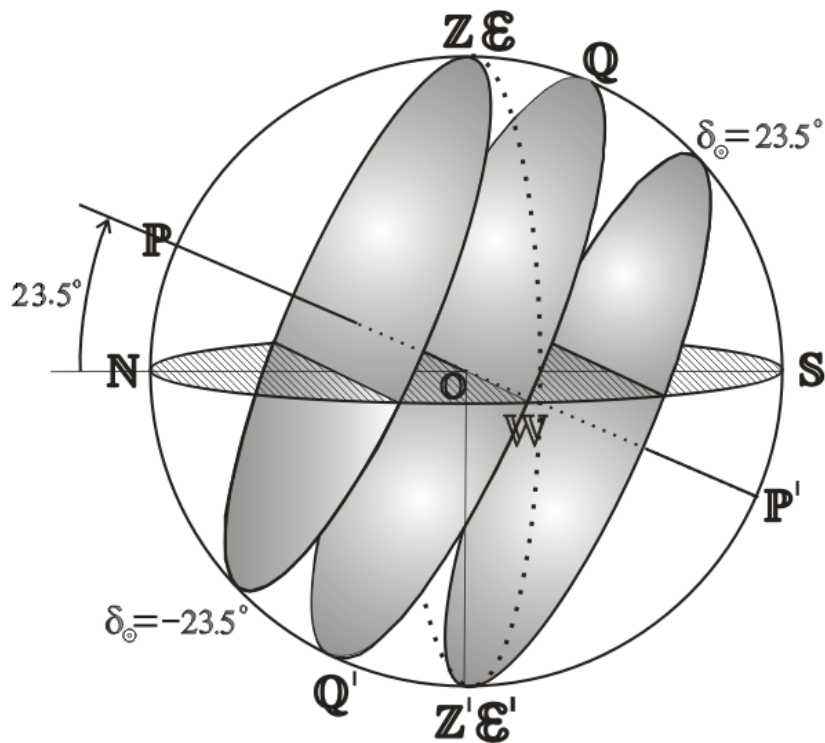


Рисунок 5.2 – Добовий рух Сонця в різні пори року на широті північного тропіка

Задача № 3. Охарактеризувати рух Сонця на широті північного полярного кола ($\varphi = 63.5^\circ$).

Розв'язання задачі

При зміщенні від районів тропічних широт до північного полюсу, максимальна висота Сонця опівдні в день літнього сонцестояння змінюється від 90° до 23.5° . Тривалість дня в цей момент часу збільшується, переходячи за північним полярним колом в *полярний день* – проміжок часу, протягом якого Сонце не заходить за горизонт (на широті $66,5^\circ$ Сонце не заходить, а лише в момент нижньої кульмінації торкається горизонту в точці півночі N).

У день зимового сонцестояння від тропічних широт до північного полюсу полуденна висота Сонця змінюється від 43° до 0° і відмічається збільшення тривалості ночі до переходу її за полярним колом в *полярну ніч* (вже на широті $66,5^\circ$ Сонце не сходить, а лише торкається опівдні горизонту в точці півдня S).

Траєкторія добового руху Сонця на широті полярного кола наведена на рисунках 5.3.

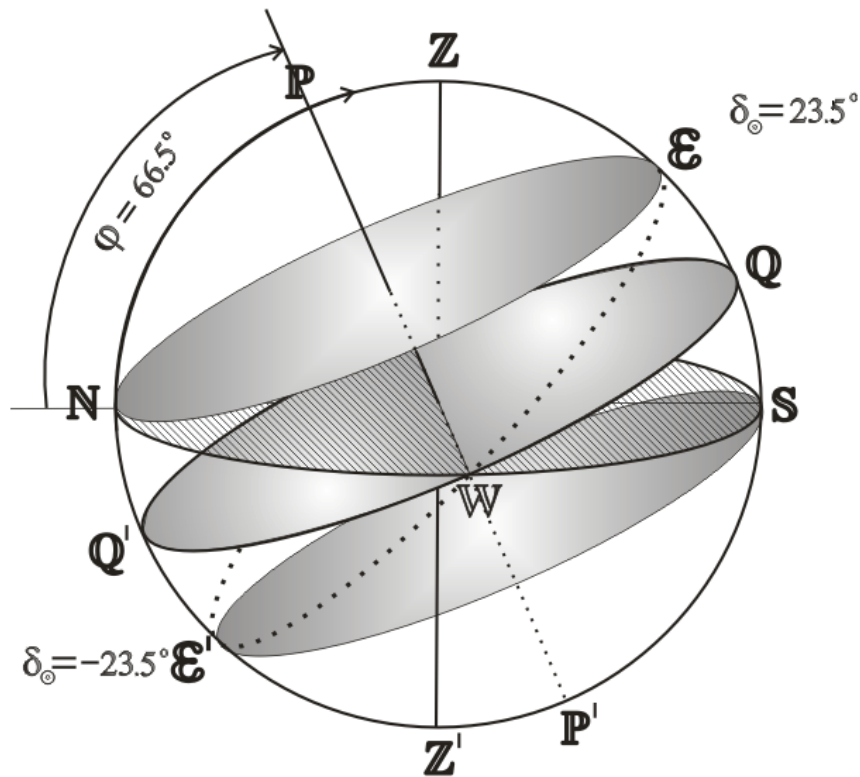


Рисунок 5.3 – Добовий рух Сонця в різні пори року на широті північного полярного кола

Задача № 4. Охарактеризувати рух Сонця на широті північного полюса ($\varphi = 90^\circ$).

Розв'язання задачі

На північному полюсі ($\varphi = 90^\circ$) Сонце сходить приблизно 21 березня і його $h_B = 0^\circ$; максимальної полуденної висоти ($h_B = 23,5^\circ$) воно досягає в день літнього сонцестояння 22 червня; 23 вересня воно заходить за горизонт і на полюсі настає полярна ніч. Таким чином, на полюсі півроку триває полярний день, а півроку – полярна ніч. До того ж Сонце при добовому русі весь час описує кола, майже паралельні горизонту, з центром біля Полярної зірки.

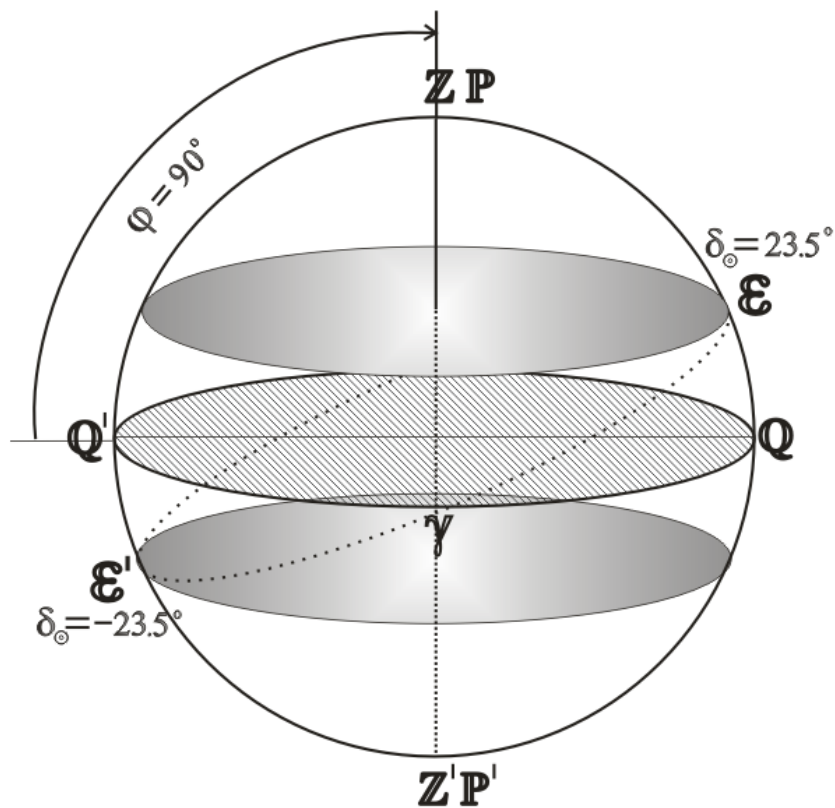


Рисунок 5.4 – Добовий рух Сонця в різні пори року на широті північного полюса

5.3 Контрольні запитання до теми

1. В який період часу на північному полюсі Землі Сонце є незахідним світилом?
2. Чим зумовлено змінювання висоти Сонця над горизонтом протягом року?
3. Які координати має Сонце у день весняного рівнодення у другій екваторіальній системі координат?
4. Які координати має Сонце у день літнього сонцестояння у другій екваторіальній системі координат?
5. Які координати має Сонце у день осіннього рівнодення у другій екваторіальній системі координат?
6. Які координати має Сонце у день зимового сонцестояння у другій екваторіальній системі координат?
7. В яких межах змінюється схилення Сонця на протязі року?
8. Паралельно якій площині відбувається добовий рух Сонця?
9. В якій площині відбувається річний рух Сонця?
10. На яких широтах земної кулі Сонце може знаходитись під або над горизонтом 24^h та більше
11. В які дні висота Сонця на широті північного полюса найбільша?
12. На яких широтах земної кулі Сонце може знаходитись у зеніті?
13. На широті 0° (широта екватора) Сонце знаходиться в зеніті в які дні?
14. Сонце сходить та заходить у південно–східній та у південно–західній частинах істинного горизонту якій період року?

5.4 Задачі для самостійного розв'язання

Для перевірки рівня засвоєних знань студентів слід виконати наступні завдання:

1. Розрахувати висоту Сонця у верхній і нижній кульмінації на різних широтах північної півкулі від екватора ($\varphi = 0^\circ$) до полюса ($\varphi = 90^\circ$) через 10° в різні пори року в дні весняного та осіннього рівнодення, літнього та зимового сонцестояння.

2. 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 у верхній і нижній кульмінаціях).
6. З'ясувати, чи може Сонце на даній широті опівдні знаходитись в зеніті.
7. Покажіть на Вашому рисунку положення Сонця на добовій паралелі в момент, коли його годинний кут дорівнює: 0° , 45° , 180° .
8. Визначити горизонтальні координати «Вашого» Сонця на момент, коли його годинний кут дорівнює 45° (графічно).

Варіанти для виконання роботи:

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

6 ЧАС ТА ЙОГО ВИМІРЮВАННЯ

6.1 Повчання по вивченню третьої теми

П'ята тема (стор. 106–131 *Конспекту*) знайомить студентів з різними системами лічби часу та їх використанням у практичних задачах гідрометеорології.

При вивченні п'ятої теми необхідно звернути увагу на:

1. зв'язок між істинним і середнім сонячним часом, рівняння часу ([1], стор. 100-102);
2. поясний час та його зв'язок з іншими часовими шкалами ([1], стор. 102-107).
3. місцевий час і його зв'язок з поясним часом ([1], стор. 110-115);
4. календарі та літочислення, які використовуються в сучасному світі і їх відмінності ([1], стор. 119-121).

5.2 Приклади розв'язання типових задач

Задача № 1. Визначити середній час $T_{сер}$, який відповідає моменту істинного сонячного часу $t_o = 11^h 45^m$ 26 липня 1982 р.

Розв'язання задачі

Для заданої дати по графіку рівняння часу (див. рис. 7.2) або по таблиці А.1 дістаємо значення рівняння часу η . В даному випадку $\eta = 6^m 24^s$. Далі за формулою (7.19, Конспект) розраховуємо:

$$T_{сер} = 11^h 45^m + 6^m 24^s + 12^h = 23^h 51^m 24^s. \quad (26 \text{ липня } 1982 \text{ р.})$$

Задача № 2. Визначити істинний сонячний час, який відповідає середньому часу $T_{сер} = 5^h 17^m 12^s$ 11 листопада 1982 р.

Розв'язання задачі

З наведеної формули (7.19, Конспект) визначаємо

$$T_o = T_{сер} - 12^h - \eta.$$

Значення рівняння часу на цю дату $\eta = 14^m 20^s$. Підставимо усі значення в останню формулу. Здобутий результат має знак мінус. Тепер до правої частини рівняння треба додати 24 години. Дістанемо:

$$t_o = 5^h 17^m 12^s - 12^h - 14^m 20^s + 24^h = 17^h 02^m 52^s. \text{ (11 листопада 1982р.)}$$

Задача № 3. Визначити середній місцевий час T_λ на метеорологічній станції, довгота якої $\lambda_E = 94^\circ 57' 45''$ у момент, коли в Гринвічі середній час $T_o = 23^h 15^m 40^s$ (20 жовтня).

Розв'язання задачі

Виразимо довготу пункту в одиницях часу:

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

І за формулою (7.21, Конспект), знаючи, що метеорологічна станція знаходиться на сході від нульового меридіана, знайдемо:

$$\begin{array}{r} T_o = 23^h 15^m 40^s \qquad (20 \text{ жовтня}) \\ + \\ \lambda_w = 6^h 19^m 51^s \\ \hline T_\lambda = 29^h 35^m 31^s \qquad (20 \text{ жовтня}) \end{array}$$

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

$$T_\lambda = 5^h 35^m 31^s \qquad (21 \text{ жовтня})$$

Задача № 4. Визначити середній місцевий час T_λ пункту А, довгота якого $\lambda_W = 147^\circ 16' 30''$, в момент, коли в Гринвічі середній час $T_o = 2^h 15^m 26^s$ (15 травня).

Розв'язання задачі

Довгота в одиницях часу $\lambda_W = 9^h 49^m 06^s$. Пункт знаходиться на захід від нульового меридіана, тобто значення часу віднімають від значення T_o . В даному випадку час на меридіані Гринвіча менший за довготу пункту A , тому до нього треба додати 24 години і вважати $T_o = 26^h 15^m 26^s$ (14.05.). В результаті маємо:

$$T_o = 26^h 15^m 26^s$$

—

$$\lambda_w = 9^h 49^m 06^s$$

$$T_\lambda = 16^h 26^m 20^s \quad (14 \text{ травня})$$

Задача № 5. Визначити поясний час T_n в Єкатеринбурзі, довгота якого $\lambda = 60^\circ 36'$, в момент, коли у Гринвічі середній час $T_o = 13^h 45^m$ (28 лютого).

Розв'язання задачі

Розрахуємо номер годинного поясу для Єкатеринбурга $60^\circ 36' : 15^\circ = 4$ (остача $0^\circ 36'$) і застосуємо формулу (7.22), де номер поясу представлений у годинах.

Оскільки Єкатеринбург розташований на схід від Гринвіча, дістанемо

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

Задача № 6. Визначити місцевий час T_λ метеорологічної станції A в момент, коли поясний час на ній $T_n = 14^h 42^m 23^s$ (17 травня). Довгота станції $\lambda_E = 94^\circ 57' 45''$.

Розв'язання задачі

Тут можливі два варіанти розв'язання:

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

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

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

З (7.24) дістанемо:

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

II-й варіант. Поясний час – це місцевий час основного (або центрального) меридіана даного часового поясу, а довгота центрального меридіана 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° . Станція має довготу $\lambda_E = 94^{\circ} 57' 45''$, тобто лежить на схід від центрального меридіана на $4^{\circ} 57' 45''$ або на $19^m 51^s$.

Перетворивши (7.24, Конспект), дістанемо

$$T_{\lambda} = T_n + (\lambda - n).$$

Таким чином,

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

Задача № 7. На метеорологічній станції A 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 задачі

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

Задача № 8. Знаходження моментів сходу та заходу Сонця і тривалості дня.

Розв'язання задачі

Для визначення істинного сонячного часу *видимого* сходу і заходу Сонця використовують формулу косинусів (5.1, Конспект). З врахуванням того, що висота Сонця в момент сходу (заходу) $h_{\odot} = -51'$ і $\sin(-51') = -0.0146$, то

$$\cos t = \frac{-0.0146 - \sin \varphi \sin \delta}{\cos \varphi \cos \delta} = -\frac{0.0146 + \sin \varphi \sin \delta}{\cos \varphi \cos \delta}.$$

Годинний кут визначають в кутових одиницях і переводять в одиниці часу. Зазвичай їх обчислюють за зоряним часом ($S = \alpha + t$), а потім визначають $t = S - \alpha$. Збільшуючи його на 12^h , одразу отримаємо моменти, що відповідають істинному сонячному часу за громадянським відліком $T_{\square} = t_{\square} + 12^h$. Місцевий середній час можна визначити з врахуванням η :

$$T_{\text{сходу}} = 12^h - t_{\square} + \eta,$$

$$T_{\text{заходу}} = 12^h + t_{\square} + \eta.$$

Так, наприклад, для широти Харкова ($\varphi = 50^\circ$ пн.ш.) в день літнього сонцестояння ($\delta = 23^\circ 27'$) час видимого сходу (заходу) Сонця визначимо через його годинний кут, скориставшись формулою (7.31):

$$\begin{aligned} \cos t_{\square} &= \frac{-\sin 51' - \sin \varphi \sin \delta_{\square}}{\cos \varphi \cos \delta_{\square}} = -\frac{\sin 51' + \sin 50^\circ \sin 23^\circ 27'}{\cos 50^\circ \cos 23^\circ 27'} = \\ &= -\frac{0.0146 + 0.7660 \cdot 0.3980}{0.6428 \cdot 0.9174} = -\frac{0.3195}{0.5897} = -0.5418. \end{aligned}$$

Оскільки згідно з тригонометричними формулами зведення $-\cos t_{\square} = \cos(180 \pm t_{\square})$, то годинний кут $t_{\square} = 180^\circ - 57^\circ 12' = \pm 122^\circ 48'$, що в одиницях часу становить $\pm 8^h 11^m 45^s$ (від'ємне значення – це час від моменту сходу до полудня, а додатне – від полудня до заходу).

Місцевий (середній сонячний) час сходу та заходу Сонця згідно формул (7.27), (7.28), враховуючи рівняння часу для 22 червня ($\eta = +2^m$), дорівнює:

$$T_{\text{сходу}} = 12^h - t_{\square} + \eta = 12^h - 8^h 11^m 45^s + 1^m 30^s = 3^h 46^m 45^s$$

$$T_{\text{заходу}} = 12^h + t_{\square} + \eta = 12^h + 8^h 48^m 45^s + 1^m 30^s = 20^h 13^m 15^s$$

Тривалість дня, як різниця між часом видимого сходу і заходу Сонця становить $T_{\text{заходу}} - T_{\text{сходу}} = 20^h 13^m 15^s - 3^h 46^m 45^s = 16^h 26^m 30^s$.

Для визначення істинного сонячного часу *істинного* сходу і заходу Сонця використовують теж формулу косинусів (5.1) з врахуванням того, що висота Сонця в момент сходу (заходу) $h_{\odot} = 0^{\circ}$. Тоді

$$\cos t = -\frac{\sin \varphi \sin \delta}{\cos \varphi \cos \delta} = -\frac{0,3049}{0,5897} = -0,5170.$$

Місцевий (середній сонячний) час істинного сходу та заходу Сонця згідно формул (7.27), (7.28), враховуючи рівняння часу для 22 червня ($\eta = +1^m 30^s.2$), дорівнює:

$$T_{\text{сходу}} = 12^h - t_{\square} + \eta = 12^h - 8^h 04^m 28^s + 1^m 30^s = 3^h 57^m 02^s$$

$$T_{\text{заходу}} = 12^h + t_{\square} + \eta = 12^h + 8^h 48^m 45^s + 1^m 30^s = 20^h 13^m 15^s$$

Тривалість дня, як різниця між часом видимого сходу і заходу Сонця становить $T_{\text{заходу}} - T_{\text{сходу}} = 20^h 13^m 15^s - 3^h 46^m 45^s = 16^h 26^m 30^s$.

На практиці місцевий час видимого сходу і заходу Сонця можна наближено встановити за допомогою **додатка 5** через косинус годинного кута, вираженого в одиницях часу. Так, для наведеного прикладу (Харків, 22 червня) косинус годинного кута у момент видимого сходу Сонця дорівнює -0.5418 , що відповідає 3 год 46,5 хв місцевого часу, а у момент видимого заходу $\cos t = 0.5418$, тобто час заходу Сонця припадає на 20 год 30 хв (згідно з додатком 5).

Для визначення подовження дня за рахунок рефракції виконують розрахунок істинного сонячного часу істинного сходу і заходу Сонця. Для цього можна використати теж формулу (5.1), з врахуванням того, що його висота $h_{\odot} = 0^{\circ}$. Тоді

$$\cos t = -\frac{\sin \varphi \sin \delta}{\cos \varphi \cos \delta} = -\frac{0,3049}{0,5897} = -0,5170.$$

За додатком визначимо час істинного сходу Сонця (3 год 56 хв) і час заходу (20 год 04 хв), тривалість дня дорівнює 16 год 08 хв.

Подовження тривалості дня дорівнює різниці між тривалістю видимого дня та тривалістю істинного дня. Таким чином, у наведеному прикладі за рахунок рефракції тривалість дня збільшується на 17 хв 30 с.

Задача № 9. Розрахунок тривалості громадянських та астрономічних присмерків.

Розв'язання задачі

Тривалість присмерків Δt залежить від географічної широти місця та від схилення Сонця δ_{\square} , тобто від пори року, та розраховується за формулою:

$$\cos(t_{\square} + \Delta t) = \frac{\sin h_{\square} - \sin \varphi \cdot \sin \delta_{\square}}{\cos \varphi \cdot \cos \delta_{\square}}, \quad (7.32)$$

де висота центра диска Сонця $h_{\square} = -6^{\circ}$ для громадянських присмерків та $h_{\square} = -18^{\circ}$ для астрономічних присмерків.

Задача № 10. Знайти тривалість присмерків на географічній широті $\varphi = 45^{\circ}$ у день літнього сонцестояння ($\delta_{\square} = +23^{\circ}27'$).

Розв'язання задачі

Скористуємось формулою (7.31, Конспект), щоб знайти годинний кут Сонця у момент заходу (сходу):

$$\begin{aligned} \cos t_{\square} &= \frac{\cos 90^{\circ}50' - \sin \varphi \sin \delta_{\square}}{\cos \varphi \cos \delta_{\square}} = \frac{\cos 90^{\circ}50' - \sin 45^{\circ} \sin 23^{\circ}27'}{\cos 45^{\circ} \cos 23^{\circ}27'} = \\ &= \frac{-0.01483 - 0.70711 \cdot 0.39795}{0.70711 \cdot 0.91741} = \frac{-0.29622}{0.64871} = -0.45663 \end{aligned}$$

$$t_{\square} = 117^{\circ}10'.2 = \pm 7^h 48^m 40^s .8$$

Знайдемо місцевий середній сонячний час сходу та заходу Сонця: згідно формул (7.27), (7.28), враховуючи, що рівняння часу для 22 червня $\eta = +1^m30^s.2$, маємо:

$$T_{\text{сходу}} = 12^h - t_{\square} + \eta = 12^h - 7^h48^m40^s.8 + 1^m30^s.2 = 4^h12^m49^s.4$$

$$T_{\text{заходу}} = 12^h + t_{\square} + \eta = 12^h + 7^h48^m40^s.8 + 1^m30^s.2 = 19^h50^m11^s$$

Тепер скористаємось формулою (7.32, Конспект), щоб знайти годинний кут закінчення (початку) громадянських присмерків:

$$\begin{aligned} \cos(t_{\square} + \Delta t) &= \frac{\sin h_{\square} - \sin \varphi \cdot \sin \delta_{\square}}{\cos \varphi \cdot \cos \delta_{\square}} = \frac{\sin(-6^{\circ}) - \sin 45^{\circ} \sin 23^{\circ}27'}{\cos 45^{\circ} \cdot \cos 23^{\circ}27'} = \\ &= \frac{-0.10453 - 0.70711 \cdot 0.39795}{0.70711 \cdot 0.91741} = \frac{-0.38592}{-0.64871} = -0.59490 \end{aligned}$$

$$t_{\square} + \Delta t = 126^{\circ}30'.3 = \pm 8^h26^m1^s.2$$

Знайдемо місцевий середній сонячний час початку та закінчення громадянських присмерків:

$$T_{\text{сходу}} = 12^h - t_{\square} + \eta = 12^h - 8^h26^m1^s.2 + 1^m30^s.2 = 3^h35^m29^s;$$

$$T_{\text{закінчення}} = 12^h + t_{\square} + \eta = 12^h + 8^h26^m1^s.2 + 1^m30^s.2 = 20^h27^m31^s.4.$$

Тривалість громадянських присмерків становить:

$$\Delta t = 8^h26^m1^s.2 - 7^h48^m40^s.8 = 0^h37^m20^s.4$$

Задача № 11. Знайти тривалість присмерків на географічній широті $\varphi = 45^{\circ}$ у день літнього сонцестояння ($\delta_{\square} = +23^{\circ}27'$).

Розв'язання задачі

Згідно формули (5.14, Конспект) висота Сонця у момент нижньої кульмінації (північ)

$$h_H = 23^\circ 27' - (90^\circ - 60^\circ 33') = -6^\circ ,$$

тобто на широті $\varphi = 60^\circ 34'$ у день літнього сонцестояння кінець вечірніх громадянських присмерків співпадає з початком ранкових громадянських присмерків, тобто громадянські присмерки тривають усю ніч, чому і називають таку ніч білою.

Кількість білих ночей у році та можливість їх настання залежить від географічної широти місця та від схилення Сонця. Для того щоб громадянські присмерки не припинялись усю ніч, треба, щоб схилення Сонця.

$$\delta_{\square} \geq 90^\circ - \varphi - 6^\circ , \text{ тобто } \delta_{\square} \geq 84^\circ - \varphi .$$

Астрономічні присмерки тим більше можуть тривати усю ніч. Для цього необхідно, щоб схилення Сонця:

$$\delta_{\square} \geq 90^\circ - \varphi - 18^\circ , \text{ тобто } \delta_{\square} \geq 72^\circ - \varphi .$$

6.3 Контрольні запитання до теми

1. Що таке істинне Сонце?
2. Що таке середнє Сонце?
3. Що таке істинна сонячна доба?
4. Годинним кутом якої точки на небесній сфері вимірюється зоряний час?
5. Чи можна визначити годинний кут точки весняного рівнодення безпосередньо зі спостережень?
6. За допомогою чого вимірюється середній сонячний час?
7. Запишіть рівняння часу.
8. З яким явищем співпадає початок зоряної доби?
9. Якій час ми використовуємо в повсякденному житті?
10. Який час називають поясным?
11. Що покладено в основу лічби поясного часу?
12. Скільки приблизно становить ширина годинного поясу?
13. Середньоєвропейським часом називають

14. Чи можна визначити різницю довгот між двома пунктами за різницею їх місцевих часів
15. Чому дорівнює різниця місцевих часів двох пунктів?
16. На яке явище припадає початок істинної сонячної доби?
17. Якій рік називають тропічним?

6.4 Задачі для самостійного розв'язання

1. Довгота першого пункту від Гринвіча $37^{\circ}34'$ до сходу. На якій довготі від Гринвіча знаходиться другий пункт, де годинник за зоряним часом показує 8^h45^m у той самий час, коли в першому пункті 2^h30^m .
2. В колишній час нульовим меридіаном вважали меридіан острова Ферро, і на деяких картах довготи рахують від Ферро. Ферро відстроїть до заходу від Гринвіча на $17^{\circ}40'$. Яка довгота від Гринвіча місця, яке на карті відстроїть від Ферро на 50° до сходу. Виразити цю довготу у часі.
3. В Харкові полудень, а в Казані у той самий час годинник показує 12^h46^m . Яка довгота Казані від Гринвіча? (Довгота Харкова від Гринвіча 2^h25^m).
4. Визначити поясний час T_n Самари в момент верхньої кульмінації істинного Сонця 22 червня. Довгота Самари $\lambda = 50^{\circ}06'$. Рівняння часу в цей день $\eta = +1^m40^s$.
5. Визначити поясний час T_n метеостанції, довгота якої $\lambda = 76^{\circ}57'$, в момент, коли середній місцевий час $T_{\lambda} = 20^h18^m50^s$ (14.06).
6. Визначити середній місцевий час T_{λ} в Ташкенті, довгота якого $\lambda = 69^{\circ}18'$, в момент, коли поясний час в Ташкенті $T_n = 8^h54^m50^s$ (20.10).
7. Поясний час в третьому годинному східному поясі $T_{n3} = 13^h48^m$. Визначити в цей же момент поясний час в дев'ятому східному поясі.
8. Істинний сонячний час в Гринвічі $t_0 = 10^h17^m31^s$, в той же момент в Москві істинний сонячний час $t_0 = 12^h47^m31^s$. Чому дорівнює довгота Москви?
9. Різниця довгот Новочеркаська та Санкт–Петербургу дорівнює $9^{\circ}48'$. Яка різниця місцевих часів в цих двох містах?
10. В Новосибірську, довгота якого $\lambda = 82^{\circ}51'$ $T_{\lambda} = 3^h10^m16^s$. Визначити відповідний йому T_{λ} в Одесі, довгота якої $\lambda = 30^{\circ}45'$.

11. На метеорологічній станції, довгота якої $\lambda = 83^{\circ}19'$ $T_{\lambda} = 14^h 23^m 48^s$.
Визначити всесвітній час в даний момент.
12. Визначити істинний час 4 липня, що відповідає середньому сонячному часу ($T_{сер} = 18^h 24^m$).
13. Визначити середній час $T_{сер}$, що відповідає моменту істинного часу $t_o = 8^h 36^m$ 3 квітня.
14. Коли на Гринвічі $10^h 17^m 14^s$, в деякому пункті $12^h 43^m 21^s$. Яка довгота цього пункту?
15. Визначити поясний час T_n метеостанції в момент верхньої кульмінації істинного Сонця 21 січня. Довгота цієї метеостанції $\lambda = 65^{\circ}19'$.

ДОДАТОК

Таблиця 1 – Рівняння часу

<i>дата</i>	<i>рівняння часу</i>	<i>дата</i>	<i>рівняння часу</i>	<i>дата</i>	<i>рівняння часу</i>
Січень 01	-3m 34s	Травень 01	2m 54s	Вересень 01	-0m 1s
Січень 02	-4m 2s	Травень 02	3m 1s	Вересень 02	0m 18s
Січень 03	-4m 30s	Травень 03	3m 7s	Вересень 03	0m 37s
Січень 04	-4m 57s	Травень 04	3m 13s	Вересень 04	0m 57s
Січень 05	-5m 24s	Травень 05	3m 18s	Вересень 05	1m 17s
Січень 06	-5m 50s	Травень 06	3m 22s	Вересень 06	1m 37s
Січень 07	-6m 16s	Травень 07	3m 26s	Вересень 07	1m 58s
Січень 08	-6m 42s	Травень 08	3m 30s	Вересень 08	2m 18s
Січень 09	-7m 7s	Травень 09	3m 33s	Вересень 09	2m 39s
Січень 10	-7m 31s	Травень 10	3m 35s	Вересень 10	2m 60s
Січень 11	-7m 55s	Травень 11	3m 37s	Вересень 11	3m 21s
Січень 12	-8m 18s	Травень 12	3m 38s	Вересень 12	3m 42s
Січень 13	-8m 41s	Травень 13	3m 39s	Вересень 13	4m 3s
Січень 14	-9m 3s	Травень 14	3m 39s	Вересень 14	4m 25s
Січень 15	-9m 25s	Травень 15	3m 38s	Вересень 15	4m 46s
Січень 16	-9m 45s	Травень 16	3m 37s	Вересень 16	5m 7s
Січень 17	-10m 5s	Травень 17	3m 35s	Вересень 17	5m 29s
Січень 18	-10m 25s	Травень 18	3m 33s	Вересень 18	5m 50s
Січень 19	-10m 43s	Травень 19	3m 30s	Вересень 19	6m 12s
Січень 20	-11m 1s	Травень 20	3m 27s	Вересень 20	6m 33s
Січень 21	-11m 18s	Травень 21	3m 23s	Вересень 21	6m 54s
Січень 22	-11m 35s	Травень 22	3m 19s	Вересень 22	7m 15s
Січень 23	-11m 50s	Травень 23	3m 14s	Вересень 23	7m 37s
Січень 24	-12m 5s	Травень 24	3m 9s	Вересень 24	7m 58s
Січень 25	-12m 19s	Травень 25	3m 3s	Вересень 25	8m 18s
Січень 26	-12m 33s	Травень 26	2m 56s	Вересень 26	8m 39s
Січень 27	-12m 45s	Травень 27	2m 50s	Вересень 27	8m 60s
Січень 28	-12m 57s	Травень 28	2m 42s	Вересень 28	9m 20s
Січень 29	-13m 8s	Травень 29	2m 34s	Вересень 29	9m 40s
Січень 30	-13m 18s	Травень 30	2m 26s	Вересень 30	9m 60s
Січень 31	-13m 27s	Травень 31	2m 18s	Жовтень 01	10m 20s
Лютий 01	-13m 35s	Червень 01	2m 9s	Жовтень 02	10m 39s

Продовження табл. 1

<i>дата</i>	<i>рівняння часу</i>	<i>дата</i>	<i>рівняння часу</i>	<i>дата</i>	<i>рівняння часу</i>
Лютий 02	-13m 43s	Червень 02	1m 59s	Жовтень 03	10m 58s
Лютий 03	-13m 49s	Червень 03	1m 49s	Жовтень 04	11m 16s
Лютий 04	-13m 55s	Червень 04	1m 39s	Жовтень 05	11m 35s
Лютий 05	-14m 0s	Червень 05	1m 29s	Жовтень 06	11m 53s
Лютий 06	-14m 5s	Червень 06	1m 18s	Жовтень 07	12m 10s
Лютий 07	-14m 8s	Червень 07	1m 7s	Жовтень 08	12m 27s
Лютий 08	-14m 11s	Червень 08	0m 55s	Жовтень 09	12m 44s
Лютий 09	-14m 13s	Червень 09	0m 44s	Жовтень 10	13m 1s
Лютий 10	-14m 14s	Червень 10	0m 32s	Жовтень 11	13m 16s
Лютий 11	-14m 14s	Червень 11	0m 19s	Жовтень 12	13m 32s
Лютий 12	-14m 14s	Червень 12	0m 7s	Жовтень 13	13m 46s
Лютий 13	-14m 12s	Червень 13	-0m 5s	Жовтень 14	14m 1s
Лютий 14	-14m 10s	Червень 14	-0m 18s	Жовтень 15	14m 15s
Лютий 15	-14m 8s	Червень 15	-0m 31s	Жовтень 16	14m 28s
Лютий 16	-14m 4s	Червень 16	-0m 44s	Жовтень 17	14m 40s
Лютий 17	-13m 60s	Червень 17	-0m 57s	Жовтень 18	14m 52s
Лютий 18	-13m 55s	Червень 18	-1m 10s	Жовтень 19	15m 4s
Лютий 19	-13m 49s	Червень 19	-1m 23s	Жовтень 20	15m 14s
Лютий 20	-13m 43s	Червень 20	-1m 36s	Жовтень 21	15m 25s
Лютий 21	-13m 36s	Червень 21	-1m 49s	Жовтень 22	15m 34s
Лютий 22	-13m 29s	Червень 22	-2m 2s	Жовтень 23	15m 43s
Лютий 23	-13m 21s	Червень 23	-2m 15s	Жовтень 24	15m 51s
Лютий 24	-13m 12s	Червень 24	-2m 28s	Жовтень 25	15m 58s
Лютий 25	-13m 2s	Червень 25	-2m 40s	Жовтень 26	16m 5s
Лютий 26	-12m 52s	Червень 26	-2m 53s	Жовтень 27	16m 10s
Лютий 27	-12m 42s	Червень 27	-3m 6s	Жовтень 28	16m 16s
Лютий 28	-12m 31s	Червень 28	-3m 18s	Жовтень 29	16m 20s
Лютий 29	-12m 19s	Червень 29	-3m 30s	Жовтень 30	16m 23s
Березень 01	-12m 19s	Червень 30	-3m 42s	Жовтень 31	16m 26s
Березень 02	-12m 7s	Липень 01	-3m 54s	Листопад 01	16m 28s
Березень 03	-11m 55s	Липень 02	-4m 5s	Листопад 02	16m 29s
Березень 04	-11m 42s	Липень 03	-4m 16s	Листопад 03	16m 29s
Березень 05	-11m 28s	Липень 04	-4m 27s	Листопад 04	16m 29s
Березень 06	-11m 14s	Липень 05	-4m 37s	Листопад 05	16m 28s

Продовження табл. 1

<i>дата</i>	<i>рівняння часу</i>	<i>дата</i>	<i>рівняння часу</i>	<i>дата</i>	<i>рівняння часу</i>
Березень 07	-10m 60s	Липень 06	-4m 48s	Листопад 06	16m 25s
Березень 08	-10m 45s	Липень 07	-4m 57s	Листопад 07	16m 22s
Березень 09	-10m 30s	Липень 08	-5m 7s	Листопад 08	16m 18s
Березень 10	-10m 15s	Липень 09	-5m 16s	Листопад 09	16m 14s
Березень 11	-9m 59s	Липень 10	-5m 24s	Листопад 10	16m 8s
Березень 12	-9m 43s	Липень 11	-5m 33s	Листопад 11	16m 1s
Березень 13	-9m 27s	Липень 12	-5m 40s	Листопад 12	15m 54s
Березень 14	-9m 10s	Липень 13	-5m 47s	Листопад 13	15m 46s
Березень 15	-8m 53s	Липень 14	-5m 54s	Листопад 14	15m 37s
Березень 16	-8m 36s	Липень 15	-6m 0s	Листопад 15	15m 27s
Березень 17	-8m 19s	Липень 16	-6m 6s	Листопад 16	15m 16s
Березень 18	-8m 2s	Липень 17	-6m 11s	Листопад 17	15m 4s
Березень 19	-7m 44s	Липень 18	-6m 16s	Листопад 18	14m 52s
Березень 20	-7m 26s	Липень 19	-6m 20s	Листопад 19	14m 39s
Березень 21	-7m 9s	Липень 20	-6m 24s	Листопад 20	14m 24s
Березень 22	-6m 51s	Липень 21	-6m 27s	Листопад 21	14m 10s
Березень 23	-6m 33s	Липень 22	-6m 29s	Листопад 22	13m 54s
Березень 24	-6m 15s	Липень 23	-6m 31s	Листопад 23	13m 37s
Березень 25	-5m 56s	Липень 24	-6m 33s	Листопад 24	13m 20s
Березень 26	-5m 38s	Липень 25	-6m 33s	Листопад 25	13m 2s
Березень 27	-5m 20s	Липень 26	-6m 33s	Листопад 26	12m 43s
Березень 28	-5m 2s	Липень 27	-6m 33s	Листопад 27	12m 24s
Березень 29	-4m 44s	Липень 28	-6m 32s	Листопад 28	12m 3s
Березень 30	-4m 26s	Липень 29	-6m 30s	Листопад 29	11m 42s
Березень 31	-4m 8s	Липень 30	-6m 28s	Листопад 30	11m 21s
Квітень 01	-3m 50s	Липень 31	-6m 25s	Грудень 01	10m 58s
Квітень 02	-3m 33s	Серпень 01	-6m 21s	Грудень 02	10m 36s
Квітень 03	-3m 15s	Серпень 02	-6m 17s	Грудень 03	10m 12s
Квітень 04	-2m 58s	Серпень 03	-6m 13s	Грудень 04	9m 48s
Квітень 05	-2m 41s	Серпень 04	-6m 7s	Грудень 05	9m 23s
Квітень 06	-2m 23s	Серпень 05	-6m 1s	Грудень 06	8m 58s
Квітень 07	-2m 7s	Серпень 06	-5m 55s	Грудень 07	8m 32s
Квітень 08	-1m 50s	Серпень 07	-5m 48s	Грудень 08	8m 6s
Квітень 09	-1m 34s	Серпень 08	-5m 40s	Грудень 09	7m 40s

Продовження табл. 1

<i>дата</i>	<i>рівняння часу</i>	<i>дата</i>	<i>рівняння часу</i>	<i>дата</i>	<i>рівняння часу</i>
Квітень 10	-1m 18s	Серпень 09	-5m 32s	Грудень 10	7m 12s
Квітень 11	-1m 2s	Серпень 10	-5m 23s	Грудень 11	6m 45s
Квітень 12	-0m 46s	Серпень 11	-5m 13s	Грудень 12	6m 17s
Квітень 13	-0m 31s	Серпень 12	-5m 3s	Грудень 13	5m 49s
Квітень 14	-0m 16s	Серпень 13	-4m 53s	Грудень 14	5m 21s
Квітень 15	-0m 2s	Серпень 14	-4m 42s	Грудень 15	4m 52s
Квітень 16	0m 13s	Серпень 15	-4m 30s	Грудень 16	4m 23s
Квітень 17	0m 26s	Серпень 16	-4m 18s	Грудень 17	3m 54s
Квітень 18	0m 40s	Серпень 17	-4m 5s	Грудень 18	3m 24s
Квітень 19	0m 53s	Серпень 18	-3m 52s	Грудень 19	2m 55s
Квітень 20	1m 6s	Серпень 19	-3m 38s	Грудень 20	2m 25s
Квітень 21	1m 18s	Серпень 20	-3m 24s	Грудень 21	1m 55s
Квітень 22	1m 30s	Серпень 21	-3m 9s	Грудень 22	1m 26s
Квітень 23	1m 41s	Серпень 22	-2m 54s	Грудень 23	0m 56s
Квітень 24	1m 52s	Серпень 23	-2m 39s	Грудень 24	0m 26s
Квітень 25	2m 2s	Серпень 24	-2m 23s	Грудень 25	-0m 4s
Квітень 26	2m 12s	Серпень 25	-2m 6s	Грудень 26	-0m 33s
Квітень 27	2m 21s	Серпень 26	-1m 50s	Грудень 27	-1m 3s
Квітень 28	2m 30s	Серпень 27	-1m 32s	Грудень 28	-1m 32s
Квітень 29	2m 39s	Серпень 28	-1m 15s	Грудень 29	-2m 1s
Квітень 30	2m 47s	Серпень 29	-0m 57s	Грудень 30	-2m 30s
		Серпень 30	-0m 39s	Грудень 31	-2m 59s
		Серпень 31	-0m 20s		

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
з дисципліни
до практичних занять
з дисципліни „Геофізика з основами астрономії”
(розділ „Основи астрономії”)
для бакалаврів I року денної та заочної форм навчання

Спеціальність: „Науки про Землю”

Укладачі: Хоменко Інна Анатоліївна, к. геогр. н., доц.
Волошина Олена Вікторівна, к.геогр.н., доц.

Підп. до друку
Умовн. друк. арк.

Формат Папір
Тираж Зам. №

Надруковано з готового оригінал-макета

Одеський державний екологічний університет
65016, Одеса, вул. Львівська, 15
