О.О.Врублевська, Г.П. Катеруша, І.А. Хоменко

АСТРОНОМІЯ

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

О.О. Врублевська, Г.П. Катеруша, І.А. Хоменко

АСТРОНОМІЯ

Конспект лекцій

Одеса
"ТЕС" – 2017

ББК 22.6
В 83
УДК 52

Рецензенти:
д.г.н., проф. О.О.Свєтлічний,
к.г.н., доц.. Ситов В.М.
к.т.н., проф. Алексейчук М.С.

Врублевська О.О. та ін.
В 83 Астрономія. Конспект лекцій/Врублевська О.О., Катеруша Г.П., Хоменко І.А..– Одеса: Вид-во "ТЭС", 2017. –139 с.

ISBN

В конспекті лекцій викладені основні теоретичні положення розділу астрономії – астрометрія. Подані практичні завдання та наведені приклади їхнього розв'язання. Для перевірки ступеня засвоєння матеріалу запропоновані контрольні запитання та задачі. Головну увагу приділено законам добового та річного видимого руху Сонця, як основного чинника, який визначає кліматичні розбіжності на Земній кулі та зміни пір року.

Конспект лекцій розрахований на студентів, магістрів, аспірантів гідрометеорологічного профілю.

ББК 22.6

ISBN

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА

Навчальний посібник з астрономії підготовлено відповідно до навчальної програми дисципліни „Астрономія”, яка є частиною державного стандарту освіти на рівні бакалавра. Цей курс обов’язковий з освітньо–професійної підготовки з напрямку гідрометеорологія.

Основною метою курсу є підготовка спеціалістів, що володіють теоретичними знаннями та практичними навичками, необхідними для коректного врахування астрономічних факторів при розв'язанні різних гідрометеорологічних задач. В ньому головна увага приділена астрометрії, розділу, в якому вивчаються методи визначення положень небесних світил і кутових відстаней між ними, закони добового руху світил, методи визначення географічних координат та вимірювання часу. Більш поглиблено розглядається видимий добовий і річний рух Сонця на різних широтах земної кулі, що допоможе студентам - гідрометеорологам пізнати причини формування різноманітних кліматів землі і існування пір року, а також з´ясувати вклад астрономічних факторів в зміни і коливання клімату Землі як планети.

В результаті вивчення дисципліни студент повинен

знати:

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

вміти:

- проводити графічні побудови положення об’єкту на небесній сфері;
- визначати 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 поверхні.

Маючи самостійне значення як дисципліна, що формує світогляд студента, розширюючи його кругозір щодо довкілля, астрономія покликана забезпечити в подальшому поглиблене вивчення та засвоєння студентами таких спеціальних дисциплін, як „Фізика атмосфери”, „Кліматологія”, „Прикладна кліматологія”, „Супутникова метеорологія” та ін. Тому цей курс в ОДЕКУ читається в першому навчальному семестрі, випереджуючі інші спеціальні дисципліни.

Потреба створення навчального посібника з астрономії зумовлена майже повною відсутністю на теренах України підручників з названої дисципліни для вищої школи, в яких було б викладено основні теоретичні положення та деякі практичні рекомендації по виконанню завдань, необхідних студентам гідрометеорологічного напрямку навчання. Крім того, він призначений для розвитку навичок самостійної роботи і більш глибокого засвоєння елементарних основ астрономії в умовах значного зменшення кількості лекційних годин і збільшення часу на самостійну роботу студентів.

У навчальному посібнику викладаються деякі питання загальної картини будови Всесвіту і основні положення сферичної тригонометрії. Розглядаються поняття про небесну сферу і її елементи, небесні координати та їх перетворення, закони видимого добового руху світил, з′ясовуються особливості добового руху Сонця в різні пори року на різних широтах земної кулі, а також питання часу та систем його вимірювання. Практична частина посібника містить приклади розв’язання різноманітних задач згідно з наведеними темами з детальним поясненням послідовності їх виконання, додаткові задачі для обов’язкового самостійного розв’язання і вихідні дані для них, допоміжні таблиці, а також запитання для самоконтролю. Значна кількість ілюстративного матеріалу (фотографії, рисунки, схеми) до кожної теми покликана дати просторове уявлення про процеси, які розглядаються, що також буде сприяти засвоєнню навчального матеріалу.

Навчальний посібник призначений для студентів, аспірантів і викладачів вузів (факультетів) гідрометеорологічного профілю.

ВСТУП

Астрономія – одна з найцікавіших і романтичних наук. Її назва має грецьке походження: астро – світило, номос – закон, тобто, – це наука про небесні світила та закони, яким вони підпорядковуються.

Більш повний зміст цієї науки можна визначити так: *астрономія – це наука про будову, походження та розвиток небесних тіл та Всесвіту, тобто оточуючого нас світу.*

Астрономія – одна з найстародавніших наук. Вона виникла і набула розвитку завдяки практичним потребам людини.

Вже на зорі розвитку людського суспільства люди зрозуміли, що спостереження зірок можуть бути їм корисними в повсякденній практичній діяльності, бо помітили деякі закономірності в зміні положень небесних тіл і зв'язок цих змін з процесами навколошнього світу. Так, наприклад, у сузір'ї Великого Пса є найбільш яскрава зірка Сіріус. Це α Великого Пса, одна з навігаційних зірок північного неба. Ще за 3 тис. років до н.е. єгиптяни, точніше єгипетські жреці, помітили, що момент появи (після деякого періоду відсутності) цієї зірки над горизонтом перед сходом Сонця *на сході* збігається з моментом розливу річки Ніл. Тобто, якщо зірка Сіріус перед сходом Сонця знаходиться на сході, треба очікувати розливу ріки Ніл. А це явище, від якого залежало економічне життя країни.

Із спостережень зірок єгипетські жреці досить точно визначили тривалість сонячного (або тропічного) року, навчились узгоджувати свій календар із зіркою Сіріус, вважаючи момент розливу Нілу початком нового року.

У стародавньому Китаї за 2 тис. років до н.е. видимий рух Сонця та Місяця були настільки добре вивчені, що китайські астрономи мали місячно–сонячний календар і могли передбачити настання сонячних та місячних затемнень.

Історія розвитку астрономії має багато цікавих та трагічних сторінок. Виникнувши в давні давнини, астрономія пройшла величезний шлях в своєму розвитку і перетворилась в одну з найскладніших фізико–математичних наук, яка і зараз продовжує служити людям.

Сучасна астрономія – одна з фундаментальних наук про природу. Вона має свій предмет дослідження, а також характерні для неї інструменти та методи дослідження.

Головним джерелом інформації про небесні тіла та явища у Всесвіті є астономічні спостереження. Вони проводяться у спеціальних науково–дослідних центрах, *обсерваторіях*, обладнаних найсучаснішими приладами. В кінці 20 століття налічувалось 378 оптичних і 89 радіоастрономічних обсерваторій.

Якщо говорити про обсерваторії, як державні установи, то першою була заснована Паризька обсерваторія в 1671 р.; у 1675 р. – Гринвіцька, 1839 р. – Пулківська, 1845 р. – обсерваторія Київського університету, 1871р. – Одеського університету.

У колишньому Радянському Союзі існувало декілька десятків астрономічних обсерваторій. Найбільші з них, це Пулківська (в Ленінграді), Кримська, Бюроканська (поблизу Єревана), спеціальна астрофізична обсерваторія (на північному Кавказі), Державний астрономічний інститут ім. П.К. Штернберга (в Москві) і низка інших.

Початок космічної ери, відзначений 4 жовтня 1957 р. запуском першого в світі радянського штучного супутника Землі (ШСЗ), дав нові джерела інформації і відкрив принципово новий етап розвитку астрономії, доповнюючи та збагачуючи наземну астрономію даними позаатмосферних спостережень. З цього моменту розпочався бурхливий розвиток нових галузей промисловості і науки. ШСЗ та орбітальні космічні лабораторії допомогають розв’язувати цілу низку проблем, які виникли перед земною цивілізацією на шляху до прогресу, і саме перед гідрометеорологією та океанологією.

За допомогою дослідження поверхні Землі в окремих спектральних діапазонах оцінюють, наприклад, товщину снігового покриву і таким чином наявні запаси вологи, вивчають склад і стан грунтів, прогнозують майбутній урожай, забруднення атмосфери та інше.

Метеорологічні ШСЗ здатні оглядати всю планету і відразу ж передавати потрібну інформацію. Це, зокрема, стосується особливостей хмарного покриву, льодового покриву океанів і континентів, напряму і швидкості руху циклонів тощо. І все це є основою для прогнозів: синоптичних, гідрологічних, океанологічних, агрометеорологічних та інших.

В залежності від завдань, які вирішуються, та методів, що використовуються при дослідженнях, астрономію поділяють на такі розділи:

1. *астрометрія* – розробка методів визначення координат, тобто оцінка положенння світил на небесній сфері;
2. *небесна механіка* – вивчення законів руху світил;
3. *радіоастрономія* – дослідження радіовипромінювань небесних тіл;
4. *зоряна астрономія* – вивчення зоряних систем, галактик;
5. *космогонія* – розробка теорій походження і розвитку небесних тіл;
6. *космологія* – вивчення закономірностей будови та еволюції Всесвіту;
7. *астрофізика* – вивчення будови, фізичного та хімічного складу небесних тіл.

Завдяки широті своїх інтересів астрономія пов’язана з багатьма науками: математикою і механікою, фізикою і хімією. Ці науки в свою чергу беруть на озброєння багато положень астрономії, широко використовуючи унікальні матеріали астрономічних спостережень.

Знання деяких положень з астрономії важливі і для гідрометеоролога. Так, серед факторів, які визначають зміни і коливання клімату Землі, астрономічному належить пріоритетне значення. Тому для з΄ясування причин цих змін, які особливо помітні в останнє століття, спеціалісту – гідрометеорологу необхідно знати і розуміти закони, що призводять до змін елементів земної орбіти, а саме до змін ексцентриситету і нахилу осі обертання Землі до екліптики, тобто до змін відстані між Землею і Сонцем, а отже, і кількості сонячної енергії, що надходить до земної поверхні.

Різниця в розподілі енергії Сонця на земній поверхні визначає, перш за все, кліматичні відмінності, що існують на земній кулі. Вивчення їх також потребує глибоких знань просторового розподілу сонячної енергії та з΄ясування причин, які зумовлюють ці розбіжності.

Один з розділів дисципліни " Метеорологія " – *актинометрія*, вивчає сонячну енергію, механізми перетворювання її в атмосфері і на поверхні Землі. Вже це вимагає знань фізичної природи Сонця, законів руху його протягом доби та року. Спостереження за сонячною енергією, яка надходить до поверхні землі, називаються *актинометричними*. Вони проводяться у певні строки *місцевого* (середнього сонячного) часу. З іншого боку, *метеорологічні* спостереження, які є основним джерелом інформації про стан атмосфери, тобто про погоду на Землі, проводяться за *поясним* часом спеціально організованим чином на мережі метеорологічних станцій. Одна з головних властивостей цих спостережень – це *одночасність* їх проведення, тому що в іншому випадку виключається можливість порівнювання умов погоди в різних районах і будування синоптичних карт – основи прогнозу погоди.

І тут виникає питання про *час* (системи його вимірювання: місцевий, поясний, сонячний та інші, правила переходу від однієї системи відліку до іншої), які гідрометеоролог може вирішувати завдяки отриманим астрономічним знанням.

Можна також зазначити, що навіть побудова гідрометеорологічного майданчика, встановлення деяких метеорологічних приладів на ньому, орієнтування їх в просторі проводяться на базі астрономічних знань.

І тому, підкреслюючи взаємозв'язок та взаємозумовленість досліджень астрономічної та гідрометеорологічної наук, в деяких країнах світу астрономічні і гідрометеорологічні обсерваторії являють собою єдиний комплекс.

Таким чином, для студента – гідрометеоролога знайомство з деякими аспектами такої багатогранної науки, як астрономія, необхідне для більш глибокого пізнання фахових дисциплін.

1 ЗАГАЛЬНА КАРТИНА БУДОВИ ВСЕСВІТУ

1. 1 Розвиток уявлень про Сонячну систему

Що таке Всесвіт?

Коли говорять про Всесвіт або космос, зазвичай, розуміють під цим словом оточуючий нас макросвіт: небесні тіла, їх системи, зоряний пил та інше.

Тобто *Всесвіт – це увесь матеріальний світ, безмірний у просторі і який розвивається з часом*.

Правильне уявлення про Всесвіт складалось у людини протягом всієї історії розвитку людства. Ще видатні філософи давнини прийшли до висновку про кулеподібність Землі, а потім і про можливість її руху в просторі.

В IV віці до н.е. великим вченим давнини Аристотелем була розроблена *геоцентрична* система світу, згідно з якою нерухома кулеподібна Земля – центр Всесвіту, а всі небесні світила рухаються навколо неї.

Основні положення цієї системи отримали розвиток завдяки Олександрійському астроному Птолемею. Тому вона була названа системою світу Птолемея, яка міцно укріпилась з II ст. до н.е. і проіснувала в науці, завдяки великому авторитету Птоломея, майже два тисячоліття.

І тільки в XVI ст. Микола Коперник прийшов до висновку, що Земля не знаходиться в центрі Всесвіту, а є звичайною планетою і поряд з іншими планетами обертається навколо Сонця, тобто він сформував *геліоцентричну* систему світу. Це відкриття стало революцією в природознавстві: вчення Коперника правильно відображало вже будову цілої системи небесних тіл – а саме *Сонячної системи*.

Яка ж будова Сонячної системи? Яке місце займає вона у Всесвіті? Ми живемо на планеті Земля, третій від Сонця в Сонячній системі.

А що таке *планета*? *Це найбільші тверді несамосвітні тіла, які обертаються навколо центрального тіла Сонячної системи – Сонця*.

Всі планети мають форму близьку до форми кулі. До теперішнього часу було відомо дев'ять планет: це Меркурій, Венера, Земля, Марс, Юпітер, Сатурн, Уран, Нептун, Плутон. Але станом на початок 2008 року Плутон вилучено із цієї системи.

Траєкторія руху будь–якої планети навколо Сонця називається *орбітою*, форма якої близька до еліпса.

У залежності від положення планет відносно орбіти руху Землі їх поділяють на *внутрішні* та *зовнішні*. До першої групи належать Меркурій і Венера. Усі інші, окрім Землі – це зовнішні планети, які мають супутники.

Чотирі планети Сонячної системи оточені великою кількістю супутників. Це Сатурн, який має 17 супутників, Юпітер – 16, Уран – 15, Нептун – 8.

Слід **зазначити, що кільця Сатурна були** виявлені вже в 17 столітті, відкриття ж кілець Урана та Юпітера – це дослідження останнього часу (1974 р. – Урана, 1979 р. – Юпітера, 1986 р.– шосте кільце Урана).

Але дослідження Сонячної системи триває, кількість супутників уточнюється.

Переважно між орбітами Марса та Юпітера рухається безліч малих планет, які дістали назву *астероїдів*. Вони, як і великі планети, обертаються навколо Сонця. У теперішній час їх відомо близько 200000. Найбільші з них зведені в каталог з вказанням орбіт та ефемерід, мають номер і навіть імена на честь великих людей та подій: Висоцький, Майя Плесецька, Москва, Юрій Любімов та ін.

Пояс малих планет являє собою як би межу між двома групами планет, які значно розрізняються за фізичними характеристиками – це планети *земної групи*: Меркурій, Венера, Земля, Марс, які рухаються всередині поясу малих планет; і *планети – гіганти*: Юпітер, Сатурн, Уран, Нептун розташовані за межою кільця малих планет.

В межах однієї групи фізичні та хімічні характеристики планет дуже схожі, але одна група різко відрізняється від іншої.

До Сонячної системи належать також *комети*, що в перекладі з грецької означає "волосата зірка". Вони обертаються навколо Сонця по витягнутих еліптичних орбітах різних розмірів, площини яких довільно орієнтовані в просторі. Звичайно, комети більшу частину свого часу проходять віддалено від Сонця та Землі, залишаючись для нас невидимими, і тому спостерігаються вони з Землі дуже рідко.

Комети – малі за масою тіла Сонячної системи (рис.1.2, 1.3). У той період, коли комети знаходяться на значній відстані від Сонця, вони являють собою неправильної форми брили замерзлих газів, куди вкраплені тверді частинки різних розмірів, у тому числі пилинки, що вдалося з’ясувати тільки в 1950 р.) Цей льодово-кам’яний конгломерат називається *ядром*.

Рисунок 1.2 – Комета С/2001 Q4. Цей знімок комети С/2001 Q4 отримано у Національній астрофізичній обсерваторії у штаті Арізона 7 травня 2004 р.

Рисунок 1.3 – Комета двохвоста

Знімок зроблено астрономом-аматором 9 березня 1976р. Він демонструє наявність у комети двох чітких хвостів. Тонкий голубий плазмовий хвіст (на фотознімку має сіруватий відтінок) складається з кометних газів, широкий хвіст білого кольору містить багато мікроскопічних пилових частинок.

Поперечники їх, зазвичай, бувають від декількох сотень метрів до декількох кілометрів, через це ядра ми не бачимо.

Маса ядра за космічними масштабами дуже незначна і навіть у найяскравіших комет не перебільшує 10^{-8} частки маси Землі (одна стомільйонна частка маси Землі).

З наближенням до Сонця таке ядро поступово прогрівається потоками Сонячних променів (сонячного випромінювання), що призводить до випаровування газів. Разом з газом з ядер виділяються тверді вкраплення, утворюючи навколо ядра газово–пилову оболонку, яка називається *головою комети*.

Поперечник голови комети звичайно становить десятки і сотні тисяч км, але наприклад, у комети, яка спостерігалась в 1680 р., і в яскравій кометі 1811 року він перевищував мільйони км, тобто майже дорівнював поперечнику Сонця.

З наступним наближенням до Сонця під дією світлового тиску гази та пил відносяться в протилежному від Сонця напрямку, формуючи *хвіст комети*, що світиться, найпримітнішу її особливість. Хвіст простягається в просторі на десятки мільйонів кілометрів.

Комету можна спостерігати з Землі тоді, коли її ядро наближається до Сонця на відстань, меншу 4–5 а.о. (1 а.о. – це середня відстань від Землі до Сонця, яка дорівнює 150 млн км).

Вже відомо і добре вивчено близько 100 короткоперіодичних комет, які через декілька років або десятків років знову повертаються, наближаються до Сонця, розтрачуючи при цьому деяку частину свого ядра.

Але значна кількість комет мають орбіти в тисячі разів більші за поперечник Сонячної системи. Вони наближаються до Сонця через проміжок часу в мільйони років.

Найвідоміша серед комет – комета Галлея, названа на честь англійського вченого – астронома, який спостерігав її в 1682 р. і обчислив період її обертання навколо Сонця. Цей період дорівнює 76 років. Останнє повернення її спостерігалось у березні 1986р.

Дослідження цієї комети велось широким фронтом (наприклад, за допомогою космічних апаратів Вега–І і Вега–ІІ, спрямованих з Землі назустріч кометі), що дало дослідникам багато цікавих матеріалів спостережень. Наступний візит цієї гості космічного простору до Сонячної системи очікується в 2062 році.

У 1996 і 1997 р.р. весь світ спостерігав ще за двома довгоперіодичними кометами. Це в 1996р. комета Ніа Cutake, а в травні 1997р. комета Хейла – Боппа. Остання відійшла від нас тепер на багато тисяч років.

Завершуючи розгляд будови Сонячної системи слід зазначити, що весь міжпланетний простір заповнено метеорною речовиною: пиловими **та**

більш твердими частинками, які залітаючи в атмосферу Землі з величезними швидкостями (до 70 км/с), розжарюються від тертя об повітря і розпиляються в ньому, створюючи явище " падаючих зірок " – *метеорів* (метеорний дощ).

Найбільші метеорні тіла інколи викликають дуже ефектне явище – появу великих яскравих метеорів або вогняних куль з силою світла до мільйона свічок, які мають назву *болідів*. **Яскраві метеори і боліди в середньому "згасають" на висоті 40–60 км.** Метеорні тіла, які мають масу меншу за грам, цілковито випаровуються на висоті 130–180 км над земною поверхнею. Взагалі, чим більше метеорне тіло і чим менша його швидкість, тим більшу відстань воно в змозі пройти в шарах земної атмосфери. Слід зазначити, що більшість метеорних речовин є залишками кометних ядер.

Метеорне тіло, яке впало на земну поверхню, називають *метеоритом* (рис. 1.4).

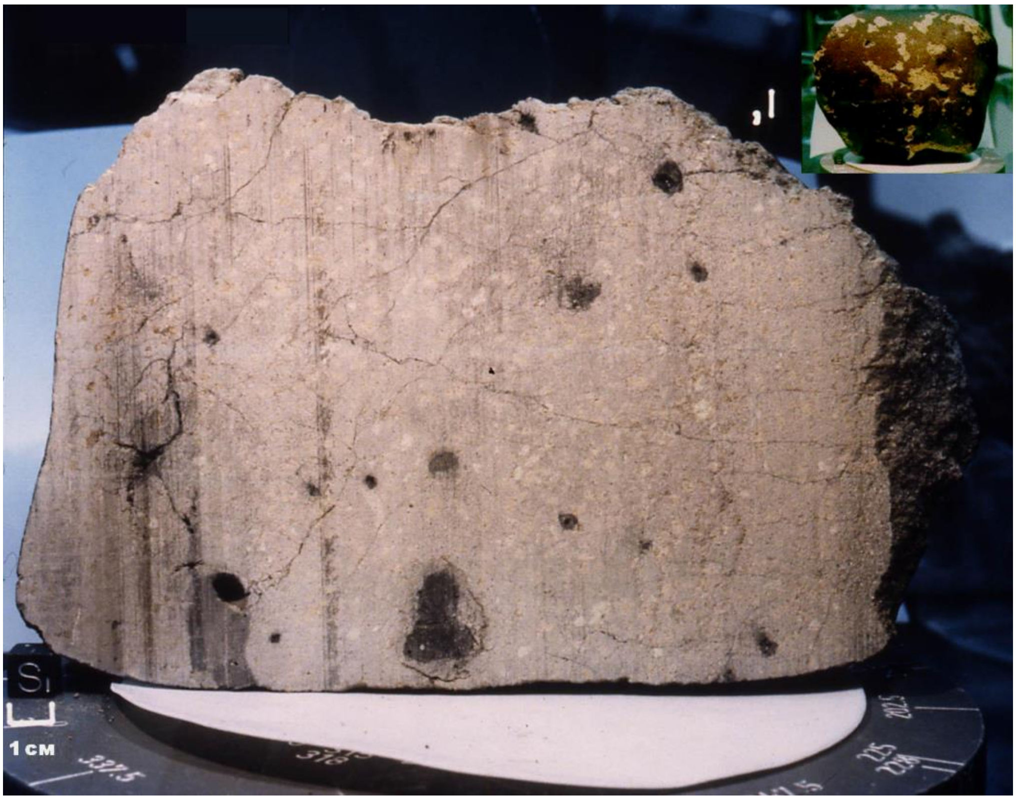


Рисунок 1.4 – Метеорит «Мартин» базальтової породи, яка за складом не відрізняється від земних пород

Фотознімок демонструє дрібнозернисту поверхню розпилу сірого кольору, чорні вкраплення – це розплавлена порода. У верхньому правому куті зовнішній вигляд цього метеориту. Його первинна вага становила близько 8 кг. Уявлення про розміри метеориту дає куб зі стороною 1 см, показаний на знімку у лівому нижньому кутку. Вік метеориту сягає 180 мільйонів років. Цей метеорит було знайдено в Антарктиді у 1979. **Він є першим підтвердженням того, що метеорити можуть походити з Марса. (*www.astro.caltech.edu*).**

Добре відомі: Тунгуський метеорит (30 червня 1908р.); найбільший метеорит Гоба (маса 60 т), знайдений у 1920 р. в південно–західній Африці; Сіхоте–Алінський метеорит (12 лютого 1947 р.).

І ось вся ця система небесних тіл, яка обертається навколо Сонця, і називається Сонячною системою. Вона не єдина у Всесвіті: зараз відомо, що найменше 50 планетних систем біля інших зірок.

А що таке Сонце, навколо якого обертаються всі тіла Сонячної системи? Це зірка. *Зірки – це гарячі плазменні кулі, які випромінюють величезну кількість світла та тепла.* Вони знаходяться від нас на дуже великих відстанях, через що навіть у найпотужніші телескопи вони виглядають світлими точками.

Сонце – це не найбільша, а звичайна зірка, яка лише знаходиться на найближчій до Землі відстані і є єдиним джерелом енергії для розвитку усіх процесів і життя на Землі.

Після Сонця найближча до Землі зірка – α сузір'я Центавра (Толіман). Вона знаходиться від нас в 250 тисяч разів далі, ніж Сонце. Світло від неї до Землі йде трохи більше, ніж чотири роки.

Зірки розсіяні в просторі нерівномірно. Вони утворюють скупчення або системи, які називають *галактиками*.

І Сонце, як одна з зірок, також належить до гігантської зоряної системи, яку називають *наша Галактика* (рис. 1.5). У безмежному оточуючому нас просторі спостерігається незчисленна кількість інших зоряних систем, кожну з яких також називають галактикою, існування яких відкрито вже в XX столітті.

Не зупиняючись на будові галактик взагалі, зазначимо, що наша Галактика – це гігантська лінзоподібна зоряна система сплюснутої спіральної структури. Складена вона приблизно з 200 млрд. зірок. Діаметр її дорівнює майже 100 000 св. років. На відстані 1/3 діаметра від центра нашої Галактики, майже в екваторіальній площині, знаходиться Сонячна система.

Рисунок 1.5 – Наша Галактика

Знімок нашої Галактики (рис. 1.5), здобутий НАСА (Національне агентство з аеронавтики та дослідженню космічного простору – це державна організація США, яка займається космічними дослідженнями). У центрі фотознімку знаходиться центр нашої Галактики, у його верхній частині – північний полюс Галактики, а в нижній – південний полюс Галактики. Фотознімок зроблено з декількох знімків, одержаних у ближній інфрачервоній частині спектру. Зірки у нашій Галактиці – джерело саме цих довжин хвиль. Тому, хоча наша сонячна система є частиною нашої Галактики, проте фотознімок виглядає так, нібито зроблений на відстані, оскільки більшість світла надходить від зірок, що знаходяться ближче до центру Галактики, ніж ми. (*www.astro.caltech.edu*)

Основна маса зірок Галактики розташована в порівняно вузькому галактичному шарі, в середині якого знаходиться Сонце.

Скупчення зірок поблизу середньої (екваторіальної) площини Галактики спостерігається нами на небі у вигляді Чумацького шляху – світлої смуги, складеної з величезного числа зірок, які неозброєним оком не розрізняються окремо.

Окрім зірок в Галактиці зосереджено безліч величезних газових та пилових туманностей, а простір між зірками заповнено надзвичайно розрідженим міжзоряним газом.

Навколо центру Галактики вся ця система рухається майже по круговій орбіті, яка знаходиться в площині Галактики, зі швидкістю близькою до 250 км/с, і в околі Сонця один оберт по галактичній орбіті становить 250 млн років.

Наша Галактика – не єдина зоряна система у Всесвіті. За її межами існує безліч інших галактик, подібних до неї (рис. 1.6, 1.7). Найбільш вивченими є галактика в сузір'і Гончих Псів, туманність Андромеди.

Рисунок 1.6 – Спіральна Галактика, NGC 4414

Спіральна галактика, NGC 4414 подібна до нашої Галактики і розташована на відстані 60 мільйонів світлових років від нас (див. п. 1.2). Це гігантський спіралеподібний диск зірок з ядром, яке складається зі старих жовтих та червоних зірок. Зовнішні рукави галактики мають здебільшого голубий колір, оскільки вони у значній мірі містять молоді голубі зірки та міжзоряний пил. Фотознімок зроблено НАСА (*www.astro.caltech.edu*).

Рисунок 1.7 – Галактика Андромеди

Галактику Андромеди іноді називають туманністю Андромеди. Це галактика, яку можна побачити неозброєним оком у сузір΄ї Андромеди. За оцінками вона містить у два рази більше зірок, ніж наша Галактика, а її діаметр на 25% більший. Знаходиться ця галактика на відстані 2.5 мільйони світлових років від нас (*www.astro.caltech.edu*).

Сукупність усіх відомих галактик, цих "зоряних островів" в безмежному океані світового простору, називають *Метагалактикою*.

1.2 Одиниці вимірювання в астрономії

Відстані, з якими має справу астрономія, дуже великі. Використовувати тут звичні для нас одиниці вимірювання незручно і складно. Тому для вимірювання великих відстаней в астрономії застосовують деякі інші одиниці:

– *астрономічна одиниця* (а.о.), яка дорівнює середній відстані Землі від Сонця, тобто 149,6 млн км. Ця одиниця використовується для вимірювань відстаней в межах Сонячної системи. В цих одиницях середня відстань Плутона від Сонця становить 39,5 а.о.

– *світловий рік* (св. рік), тобто відстань, яку проходить світло (зі швидкістю приблизно 300 000 км/с) за один рік. Між цим одиницями існує таке співвідношення

$$1 \text{ св.р.} = 9{,}46 \cdot 10^{12} \text{ км} = 63\,240 \text{ а.о.}$$

і використовуються вони для вимірювання відстаней в нашій Галактиці.

Для вимірювання відстаней за межами нашої Галактики вико–ристовується найчастіше *парсек* (пс).

Парсек – це така відстань, з якої середній радіус земної орбіти (що дорівнює 1 а.о.), перпендикулярний до променя зору, видно під кутом в 1″

$$1 \text{ парсек (пс)} = 3{,}262 \text{ св.р.} = 206\,265 \text{ а.о.}$$

Таким чином, найближча до нас зірка α Центавра знаходиться на відстані 4,2 св. р. (майже 40 трильйонів км).

Запитання для самоконтролю

1. Що таке Всесвіт?
2. Що таке зірка?
3. Що таке планета?
4. Як побудована Сонячна система?
5. Назвіть планети земної групи?
6. Де розташований пояс астероїдів?
7. Структура комети?
8. Визначення понять Галактика і Метагалактика.
9. Структура нашої Галактики.
10. Одиниці вимірювання відстаней в астрономії.

2 ОСНОВНІ ВІДОМОСТІ ЗІ СФЕРИЧНОЇ ТРИГОНОМЕТРІЇ

2.1 Деякі теоретичні положення

Для рішення цілої низки питань гідрометеорологу необхідні відомості про положення світил на небесній сфері, тобто знання з розділу астрономії, який називається *сферична астрономія*. У цьому розділі використовуються закони та правила сферичної тригонометрії.

Давньогрецькі вчені одним з основних для себе вважали питання про місце Землі у Всесвіті, дослідження і з'ясування особливостей руху «блукаючих світил», тобто планет, а в цілому – з'ясування найголовніших елементів світобудови. Тому, коли йшлось про геометрію, то малась на увазі сферична або геометрія на сфері, яка вже в V ст. до н.е. розвинулась як допоміжна астрономічна дисципліна.

Потреба у вимірюванні кутових відстаней між світилами на небі і визначені систем небесних координат зіграла величезну роль у розвитку сферичної тригонометрії.

Щоб усвідомити, якими значними були труднощі давніх учених, доцільно згадати, що поняття синуса сформулювали в часи Гіппарха (II ст. до н.е.), тоді, як тангенса – в X ст.; що поняття десяткового дробу існує лише з 1585 р., а таблиці логарифмів з'явилися лише після 1614 р.

Наука про співвідношення між дугами та кутами на поверхні сфери називається *сферичною тригонометрією*.

Сфера – поверхня, всі точки якої знаходяться на однаковій відстані від центральної точки, тобто центра сфери.

Основні властивості сфери:

1. Площина, яка проходить через центр сфери, ділить її на дві рівні півсфери (півкулі).

Лінія перетину сфери цією площиною називається *великим колом сфери*. Радіус великого кола сфери дорівнює радіусу R сфери.

2. Площини, які перетинають сферу поза її центру, утворюють на поверхні сфери *малі кола*, радіус r яких менший за радіус сфери (рис. 2.1).

3. Діаметр сфери, перпендикулярний до площини заданого великого чи малого кола сфери, називається *віссю сфери*, а кінці цієї осі – *полюсами* великого або малого кола. Для великого кола вони однаково віддалені, а для малого кола сфери слід розрізняти поняття *найближчий* і *найвіддаленіший* полюси.

4. При перетині будь-якого діаметра сфери перпендикулярними йому площинами на поверхні сфери утворюється одне велике коло, якщо його площина проходить через її центр, і низка малих кіл, площини яких паралельні великому.

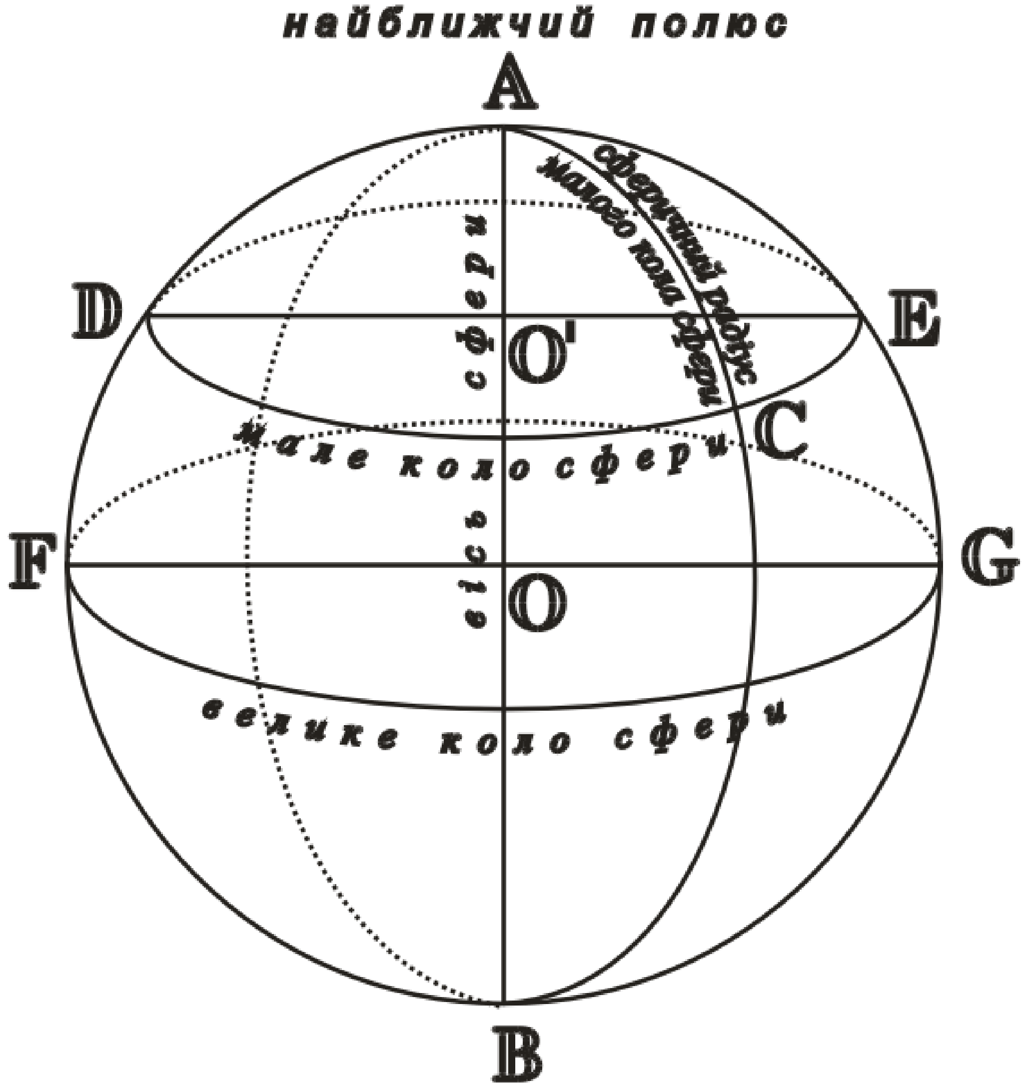


Рисунок 2.1 – Сфера та її елементи

5. Два великих кола сфери завжди перетинаються в двох діаметрально протилежних точках, бо площини цих кіл перетинаються по діаметру сфери.

6. Через дві діаметрально протилежні точки сфери можна провести безліч великих кіл (рис. 2.2).

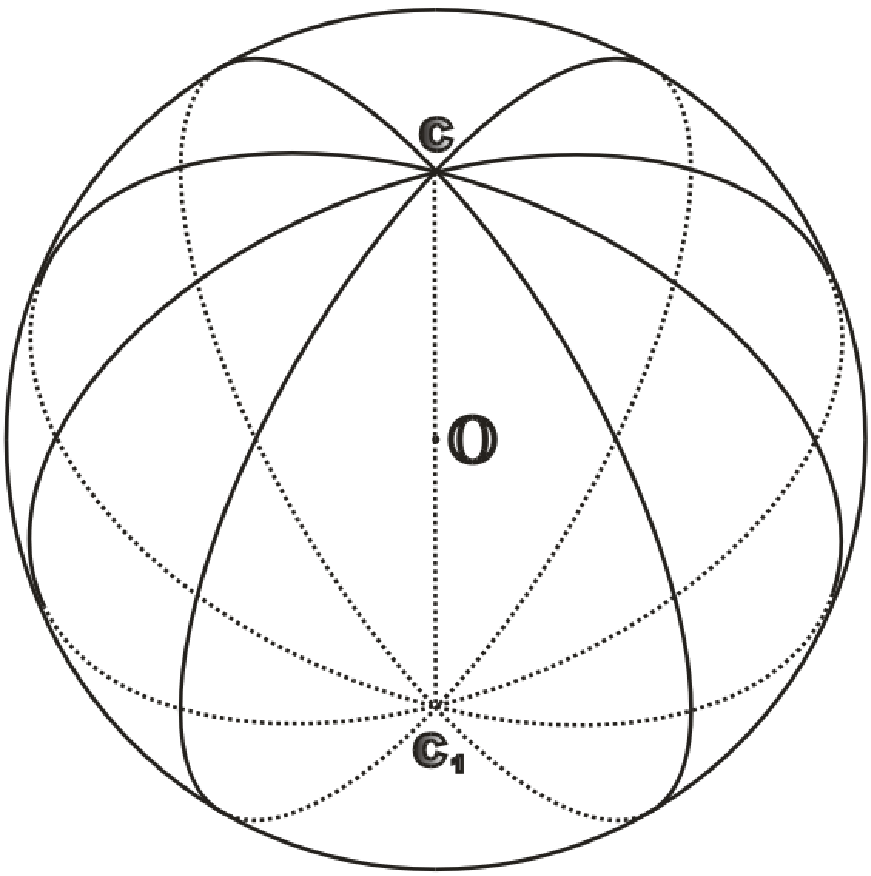


Рисунок 2.2 – Великі кола сфери

7. Через дві точки на поверхні сфери, які не лежать на одному діаметрі, можна провести одне велике коло сфери через те, що третьою точкою положення її площини є центр сфери (інші кола будуть малими) (рис. 2.3).

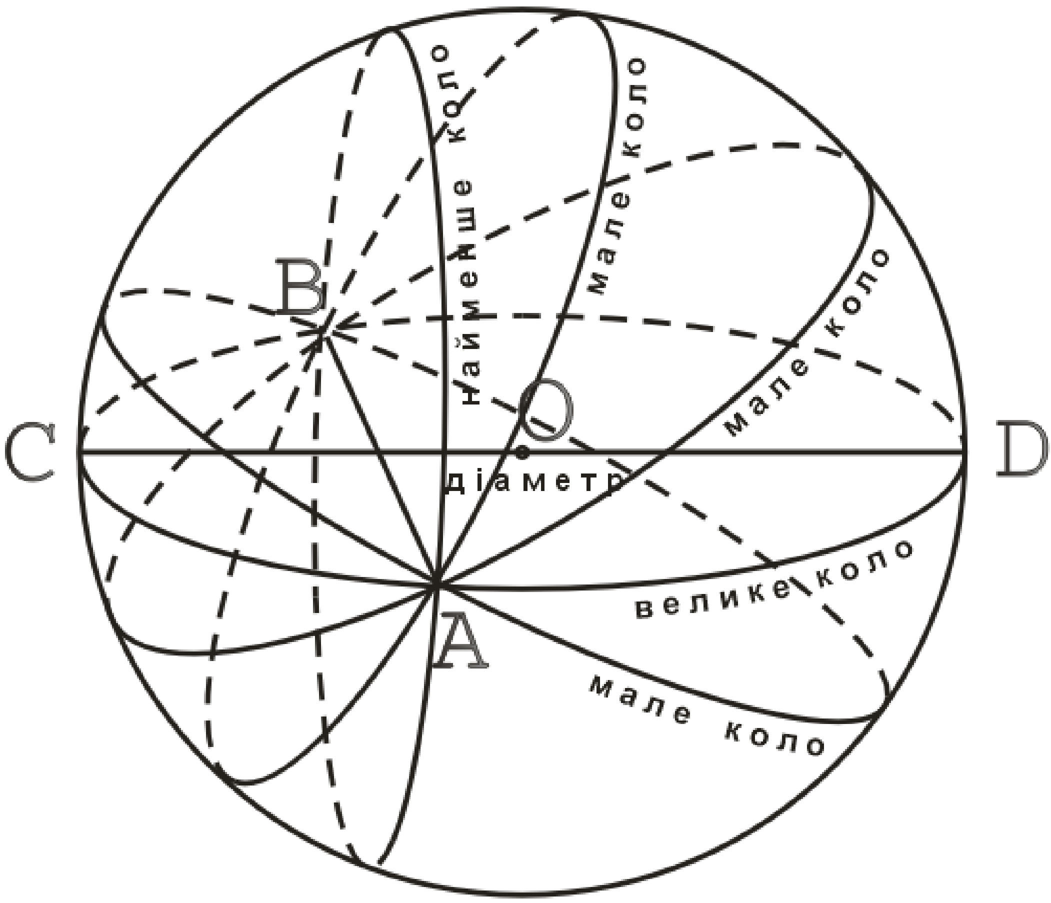


Рисунок 2.3 – Великі та малі кола сфери

8. Дуга великого кола є найкоротшою відстанню на поверхні сфери між кінцевими точками цієї дуги (рис. 2.4). Її називають геодезичною лінією. Іншими словами можна сказати, що відстані між точками на поверхні сфери вимірюються дугами великих кіл, які виражаються в градусній мірі (або, як побачимо далі, в одиницях часу).

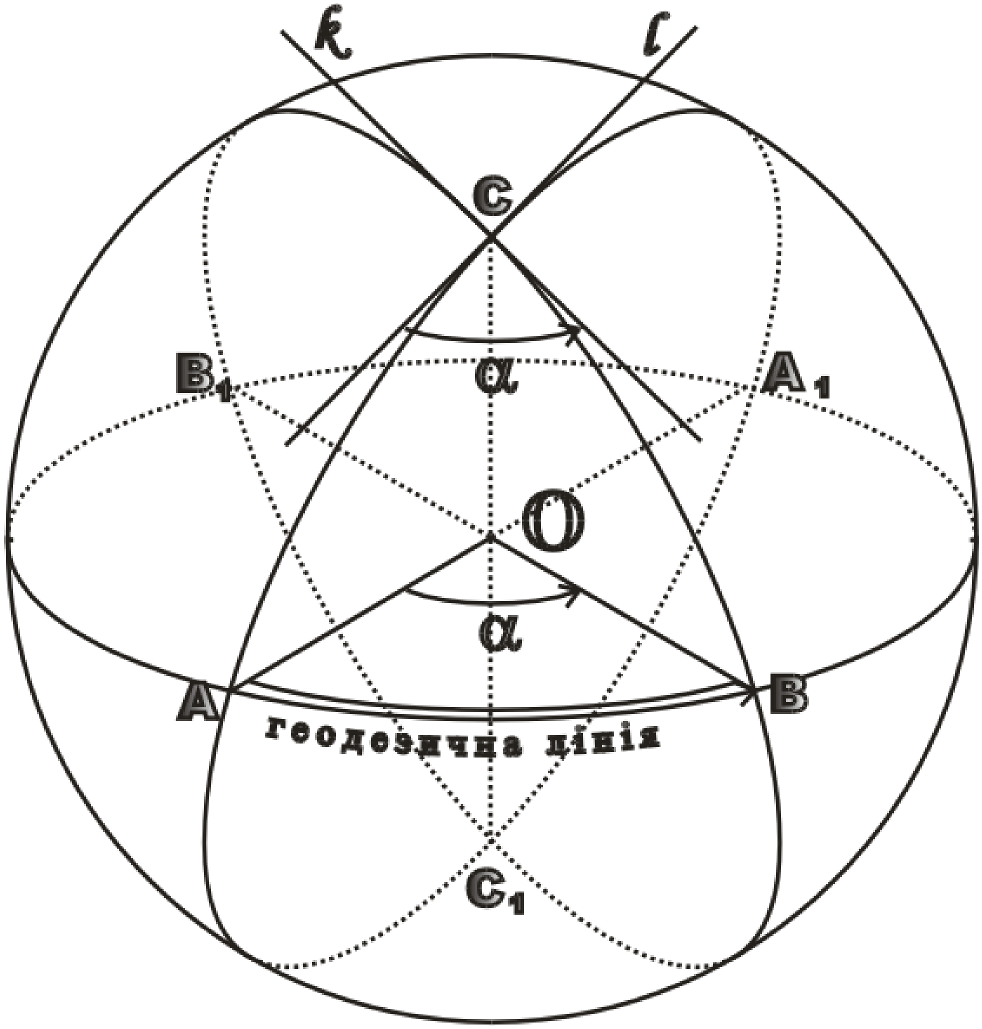


Рисунок 2.4 – Сферичний кут

Введемо деякі поняття.

Сферичний радіус малого кола сфери – це найкоротша відстань на поверхні сфери від найближчого полюса A заданого малого кола до будь-якої точки цього кола (рис. 2.1). У наведеному рисунку дуга AC великого кола є сферичним радіусом малого кола $DO'E$.

Сферичний кут. Сферичний кут на поверхні сфери утворюється двома дугами великих кіл, які виходять з однієї точки – *вершини* сферичного кута C або C_1 (рис. 2.4). Дуги великих кіл, які утворюють сферичний кут, називаються його *сторонами*. Сферичний кут вимірюється в градусах або радіанах.

Сферичний кут ACB можна виміряти плоским кутом між прямими k і l, дотичними до сторін сферичного кута в його вершині C.

Сферичний кут ACB вимірюється і центральним кутом AOB, тобто *лінійним кутом* двогранного кута $CC'AB$.

Нарешті, цей сферичний кут також можна виміряти *дугою великого кола* AB, полюсом якого є вершина сферичного кута C.

Таким чином, задана дуга великого кола може бути замінена рівним їй по величині сферичним кутом при полюсі цього великого кола або навпаки.

Сферичний трикутник. Сферичним трикутником називається фігура на поверхні сфери, утворена дугами трьох великих кіл, які проходять через три точки сфери – *вершини сферичного трикутника* (рис. 2.5). Дуги

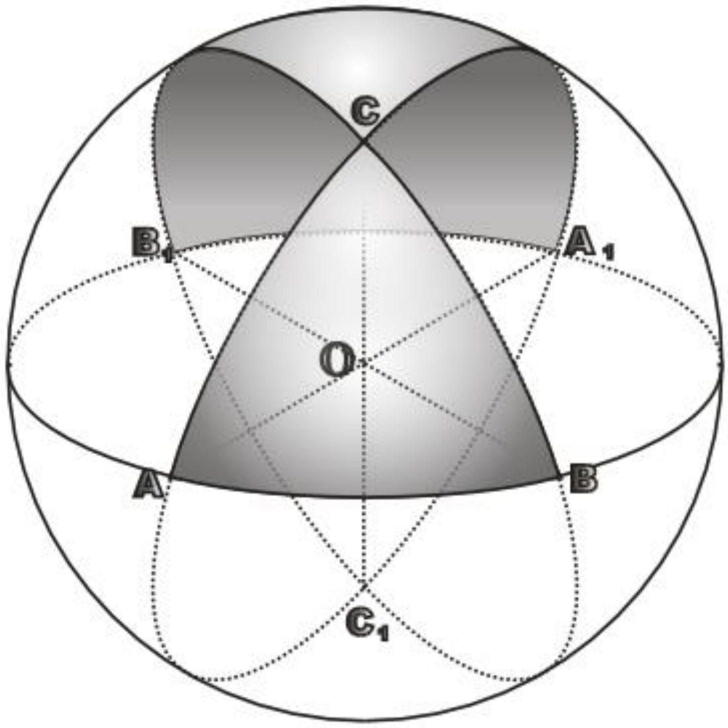


Рисунок 2.5 – Принцип утворення сферичного трикутника

великих кіл, які з’єднують вершини сферичного трикутника АВС, називають його *сторонами*. При його вершинах А, В, С утворюються *сферичні кути*. Протилежні до кутів сторони сферичного трикутника позначаються відповідно *a*, *b*, *c*. Три великих кола утворюють на поверхні сфери вісім сферичних трикутників.

Якщо виділити окремо сферичний трикутник зі сфери він буде мати такий вигляд (рис. 2.6):

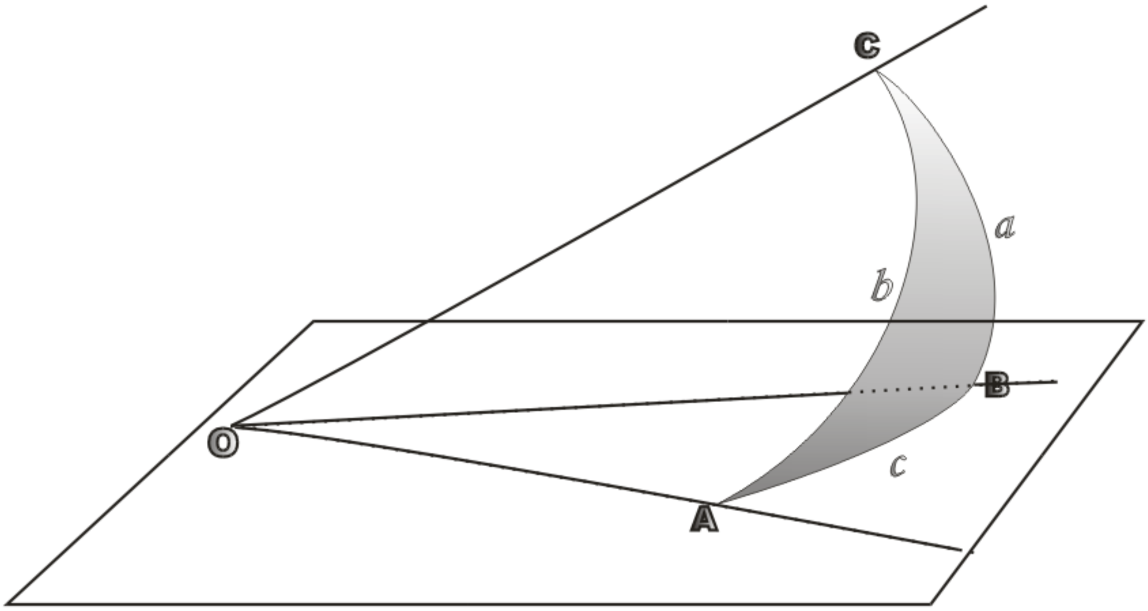


Рисунок 2.6 – Сферичний трикутник та його елементи

Зазначимо, що співвідношення між сторонами та кутами в планіметрії (або тригонометрії на площині) відрізняються від таких в сферичній тригонометрії. Так, якщо в плоскій тригонометрії сума кутів у трикутнику дорівнює 180°, то в сферичній вона завжди більша, ніж 180°, і може досягати 540°.

Співвідношення між сторонами та кутами сферичного трикутника, які називаються *елементами сферичного трикутника* (рис. 2.6), відображають основні формули сферичної тригонометрії: формула синусів, формула косинусів, формули п'яти і чотирьох елементів. Для виведення цих формул, зазвичай, розглядають сферичний трикутник, у якого всі сторони та кути менші, ніж 180°, такі трикутники називають *трикутниками Ейлера*.

Для трикутника Ейлера (з кутами A, B, C та сторонами a, b, c) мають місце такі твердження:

1. Сума двох сторін більша за третю, різниця двох сторін менша за третю:

$$a+b>c, \qquad |a-b|<c;$$

2. Сума двох кутів менша, ніж третій кут, збільшений на π :

$$A+B<C+\pi;$$

3. Найбільша сторона лежить проти найбільшого кута:

$$a < b \text{, якщо } A < B; \; a = b \text{, якщо } A = B;$$

4. Сума кутів знаходиться в межах від π до 3π, сума сторін – від 0 до 2π:

$$\pi < A + B + C < 3\pi, \;\; 0 < a + b + c < 2\pi \; .$$

Таким чином, сума кутів сферичного трикутника завжди більша за 180°.

Формула синусів. Ця формула виражає залежність між сторонами сферичного трикутника і протилежними до них кутами:

$$\frac{\sin c}{\sin C} = \frac{\sin b}{\sin B} = \frac{\sin a}{\sin A} = n \, . \tag{2.1}$$

Формулюється вона так: *в сферичному трикутнику відношення синуса сторони до синуса протилежного до неї кута є величина стала або синуси сторін сферичного трикутника пропорційні синусам протилежних до них кутів.*

Формула синусів можуть бути надані у такому вигляді:

$$\frac{\sin c}{\sin C} = \frac{\sin b}{\sin B}; \;\; \frac{\sin a}{\sin A} = \frac{\sin b}{\sin B}; \;\; \frac{\sin a}{\sin A} = \frac{\sin c}{\sin C} \, . \tag{2.2}$$

Формула косинусів. Вона формулюється таким чином: *косинус сторони сферичного трикутника дорівнює добутку косинусів двох інших його сторін плюс добуток синусів цих же сторін на косинус кута між ними.*

Цю формулу для різних сторін трикутника можна записати у такому вигляді:

$$\cos a = \cos b \cdot \cos c + \sin b \cdot \sin c \cdot \cos A, \tag{2.4}$$

$$\cos b = \cos a \cdot \cos c + \sin a \cdot \sin c \cdot \cos B, \tag{2.5}$$

$$\cos c = \cos a \cdot \cos b + \sin a \cdot \sin b \cdot \cos C \, . \tag{2.6}$$

Формула п'яти елементів. Ця формула пов'язує три сторони і два кути сферичного трикутника. Вона формулюється так: *добуток синуса сторони на косинус прилеглого кута дорівнює добутку косинуса протилежної цьому куту сторони на синус третьої сторони мінус добуток синуса протилежної цьому куту сторони на косинус третьої сторони і на косинус кута між ними.*

Для сторони a і прилеглих до неї кутів B і C формулу п'яти елементів у двох можливих варіантах наведено нижче:

$$\sin a \cdot \cos B = \cos b \cdot \sin c - \sin b \cdot \cos c \cdot \cos A, \tag{2.7}$$

$$\sin a \cdot \cos C = \cos c \cdot \sin b - \sin c \cdot \cos b \cdot \cos A. \tag{2.8}$$

За аналогією можна скласти такі формули для сторін *в* і c та прилеглих до кожної з них кутів. Таким чином утворюється 6 формул.

Аналогічним чином можна сформувати другу групу цих формул, що відображує зв'язок між трьома кутами і двома сторонами. Наприклад, формули (2.9 і 2.10), які складені для кута A і прилеглих до нього сторін *в*, і c пов'язують між собою три кута і дві сторони:

$$\sin A \cdot \cos b = \cos B \cdot \sin C + \sin B \cdot \cos C \cdot \cos a, \tag{2.9}$$

$$\sin A \cdot \cos c = \cos C \cdot \sin B + \sin C \cdot \cos B \cdot \cos a. \tag{2.10}$$

Для різних кутів і прилеглих до них сторін також можна одержати 6 формул.

Запитання для самоконтролю

1. Як утворюються великі і малі кола сфери?
2. Скільки великих кіл сфери можна провести через дві діаметрально протилежні точки?
3. Скільки великих кіл сфери можна провести через дві точки, які не лежать на одному діаметрі?
4. Що називають віссю великого і малого кола сфери?
5. Як вимірюються відстані між точками на поверхні сфери?
6. Що таке сферичний кут?
7. Що таке сферичний трикутник?
8. Назвіть елементи сферичного трикутника.
9. Що визначає сферичний радіус?
10. Які формули сферичної тригонометрії відображають зв'язок між елементами сферичного трикутника?

2.2 Практична частина

Як вже згадувалось, відстань між точками на поверхні сфери вимірюється дугою великого кола сфери, яке проходить через ці точки. Вона може бути виражена в кутових (градусних) одиницях вимірюваннях 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:

$$24^h = 360°$$

$1^h = 15°$	$1° = 4^m$
$1^m = 15'$	$1' = 4^s$
$1^s = 15''$	$1'' = 1/15^s$

При переводі з градусної міри в годинну 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).

Приклади:

1.	35°26'30"	–	2^h	20^m	
				01^m	44^s
					02^s
			2^h	21^m	46^s

2.	350°15'45"	–	23^h	20^m	
				01^m	0^s
					2^s
			23^h	21^m	3^s

3.	10°26'15"	–	0^h	40^m	
				01^m	44^s
					01^s
			0^h	41^m	45^s

4.	182°20'48"	–	12^h	8^m	
				1^m	20^s
					03.2^s
			12^h	9^m	23.2^s

Примітка. Одиниці вімірювання часу: h – година, m – хвилина, s – секунда.

При переводі з годинної 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).

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

Приклади:

1. $14^h 41^m 53^s$ –

210°		
10°	15'	
	13'	15"
220°	28'	15"

2. $1^h 5^m 45^s$ –

15°		
1°	15'	
	11'	15"
16°	26'	15"

3. $5^h 32^m 15^s$ –

75°		
08°	00'	
	03'	45"
83°	03'	45"

4. $0^h 41^m 45^s$ –

00°		
10°	15'	
	11'	15"
10°	26'	15"

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

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

3 ОСНОВИ СФЕРИЧНОЇ АСТРОНОМІЇ

Розділ астрономії, який вивчає положення світил на небесній сфері, називається *сферичною астрономією*. Вона базується на основних положеннях сферичної тригонометрії.

3.1 Небесна сфера

У будь–якій місцевості Землі спостерігач бачить небо над собою у вигляді сферичної поверхні, яку називають *небесним склепінням*.

Вдень у безхмарну погоду колір неба блакитний, бо молекули земної атмосфери розсіюють промені Сонця блакитної (фіолетової) частини спектра сильніше, ніж червоної. Крім Сонця інколи видно Місяць і дуже рідко інші небесні тіла, наприклад, Венеру.

Вночі, коли сонячне освітлення відсутнє, на небі видно зірки, Місяць, планети, інколи комети та інші небесні тіла.

Створюється враження, що Земля оточена величезною сферою, на внутрішній поверхні якої в безладді розкидані небесні тіла.

Зазначимо, що в дійсності зірок, які людина бачить неозброєним оком, не так вже й багато. Їх кількість становить близько 6 тисяч на всьому небі, але в будь–якій точці простору спостерігач бачить лише півсферу і тому може спостерігати не більше 3 тисяч зірок.

Не існує в природі й матеріальної сфери, яка б оточувала Землю. Небесні тіла рухаються в безмежному світовому просторі на різних відстанях від Землі. Ці відстані так неуявно великі, що всі небесні тіла здаються нам однаково віддаленими, тобто такими, ніби знаходяться на внутрішній поверхні уявної сфери. Ця особливість і покладена в основу багатьох астрономічних розрахунків.

Через колосальні відстані зірок від Землі їх взаємне розташування на небі здається незмінним. В дійсності ці зміни відбуваються, але вони проходять надзвичайно повільно. І без точних вимірювань їх неможливо виявити протягом багатьох сотень, а для переважної кількості зірок, і багатьох тисяч років. Остання обставина дозволяє легко орієнтуватись серед тисяч зірок, незважаючи на уявну хаотичність в їх розташуванні.

З метою орієнтації на небі ще народи давнини найбільш яскраві зірки об'єднували в групи, які дістали назву *сузір'я* (тобто сполучення зірок).

Зараз *сузір'ями називають ділянки зоряного неба, до яких входить певна група зірок.*

Все небо поділене на 88 сузір'їв, з яких з території України можна бачити лише 54.

Назва сузір'їв – це цілковита поезія. В них знайшли відображення легенди і міфи наших далеких предків, а також деякі сторони їх реального практичного життя.

Небесну сферу розглядають, як інструмент для розв'язання багатьох астрономічних задач. Її *сферична поверхня* використовується, як математична модель для визначення видимих положень небесних тіл.

Дійсно, для розв'язання астрономічних задач відстані до небесних тіл не мають значення, а суттєвим є лише їх видиме взаємне розташування на небі, положення відносно один одного, тобто *кутова відстань* між ними, яку зручно вимірювати на сфері, в центрі якої ми знаходимося.

Для правильного розуміння астрономічних явищ, які спостерігаються, величина радіуса r небесної сфери не має значення, тому її вважають довільною. Центр небесної сфери можна розмістити в різних точках простору: це може бути центр Землі (геоцентрична небесна сфера), центр Сонця (геліоцентрична небесна сфера), центр Місяця (селеноцентрична небесна сфера) тощо. Коли центр сфери знаходиться в місці спостереження, то говорять про топоцентричну небесну сферу. У подальшому ми будемо розглядати саме цю небесну сферу. В такому разі, *небесна сфера – це уявна сферична поверхня довільного радіуса, в центрі якої знаходиться спостерігач*. Всі небесні тіла проектуються на небесну сферу.

В ролі спостерігача може бути не тільки людина, але й оптичний прилад, антена радіотелескопа, фотоплатівка, тобто вся сукупність приладів, що реєструють положення та стан небесних тіл.

Через досить малі розміри земної кулі в порівнянні з відстанями до зірок можна сформулювати особливу властивість небесної сфери: *для спостерігачів з різних місць земної поверхні одна й та ж зірка (точка небесної сфери) видима в паралельних напрямках.*

Слід зазначити, що небесна сфера має всі властивості сфери взагалі. Вимірювання на небесній сфері проводяться тільки в кутових або дугових одиницях: градусах, хвилинах, секундах.

Відстані між точками небесної сфери вимірюються дугами великих кіл, які проходять через ці точки.

3.2 Основні елементи небесної сфери

Для визначення положення світил (зокрема Сонця) на небесній сфері необхідно встановити їхні координати.

Небесні координати – це числа, які визначають положення різних об'єктів на небесній сфері по відношенню до деяких площин, ліній, точок.

Положення точки на земній кулі визначається двома географічними координатами: *широтою* та *довготою* (рис. 3.1). Географічна широта φ – це кут AOB між площиною земного екватора та прямовисною лінією, яка проходить через точку спостереження, тобто вона визначає положення будь–якої точки на Земній кулі по відношенню до земного екватора. Вона відлічується від 0° до ±90° на північ і на південь. Широта точки на екваторі дорівнює 0°, широта північного полюса – + 90°, а південного полюса – –90°. Лінії рівних широт називають паралелями.

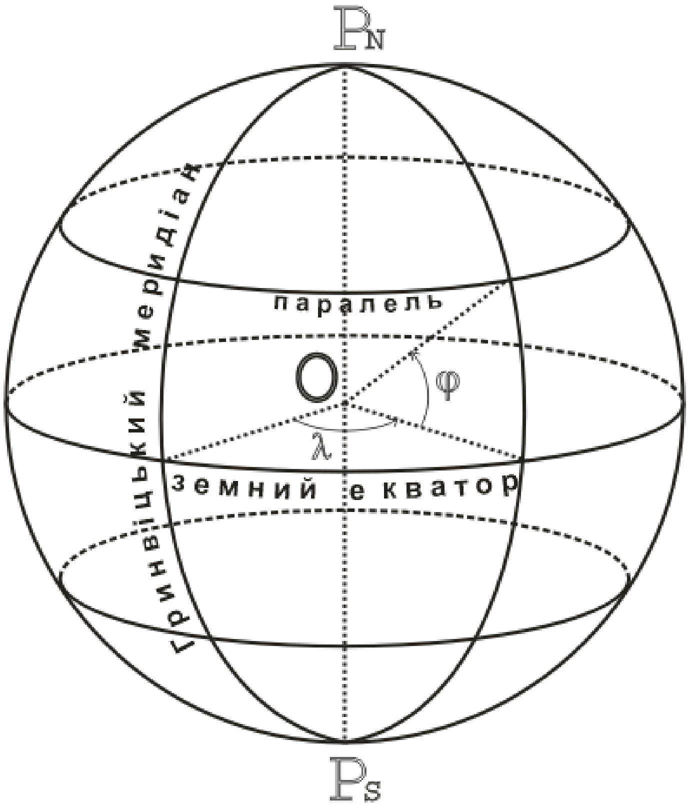


Рисунок 3.1 – До поняття географічна широта та географічна довгота

<u>Географічна довгота</u> λ відраховується від початкового меридіана, положення якого з плином часу змінювали. Тривалий час у географії за *початковий* приймали *меридіан*, який проходить через острів Ферро в групі Канарських островів. З часом англійці „перенесли його” на меридіан Гринвіцької обсерваторії біля Лондону. Французи тривалий час вели розрахунки довготи від Паризького меридіана. Як відмічає один з авторів книги „Астрономия для любознательных”, ніхто не заважає росіянам всі місцевості земної кулі віднести до меридіана, який проходить через Пулківську обсерваторію. Можна тільки уявити, до якої плутанини в довготах це призвело б.

У теперешній час за домовленістю між країнами світу за початок відліку довготи прийнято *Гринвіцький меридіан*, який має назву „*нульовий*”. Довготи відлічують в межах від 0° до ±180° відповідно на схід та захід.

А як бути з небесною сферою? Що вибрати для неї за основну площину? Які на ній вибрати лінії та точки, від котрих необхідно вести відлік?

Для відповіді на усі ці запитання в астрономії користуються простим поняттям – *лінія виска* або прямовисна лінія.

Лінією виска називається пряма, яка проходить через точку спостереження, тобто центр небесної сфери, за напрямком дії сили тяжіння.

Для визначення напрямку дії сили тяжіння використовується висок.

При розв'язанні астрономічних задач у багатьох випадках складна фігура Землі – геоїд, замінюється не сфероїдом (як це робиться в географічних дослідженнях), а вважається кулею з рівномірно розподіленою в ній густиною. Тоді прямовисна лінія в різних точках земної поверхні спрямована до центра земної кулі, збігаючись з напрямком земного радіуса, і має вертикальний напрямок.

Лінія виска в перетині з небесною сферою утворює на ній дві точки: над головою спостерігача (верхня точка) має назву *зеніт* Z точки спостереження або даного місця, друга – протилежна їй (нижня точка) називається *надир* Z' (рис. 3.2).

Розглянемо наступні додаткові точки та лінії на небесній сфері. Якщо вийти на відкриту місцевість, то можна побачити, що небесна сфера торкається земної поверхні. Ця лінія перетину небесної сфери з земною поверхнею називається *видимим горизонтом*.

В астрономії розглядається дещо інше поняття, а саме *істинний* або *математичний горизонт*. Що це таке?

Площина, яка проходить через точку спостереження перпендикулярно до лінії виска, називається площиною математичного або істинного горизонту. В перетині з небесною сферою вона утворює велике коло небесної сфери, яке називається *істинним* або *математичним горизонтом*. Поняття видимий і істинний горизонт не можна ототожнювати, бо видимий горизонт завжди знаходиться на земній поверхні, а істинний – на небесній сфері. Вони ніколи не збігаються і математичний горизонт вище видимого (за винятком місцевостей, які розташовані нижче рівня моря).

Спостереження зоряного неба показують, що небесна сфера обертається в напрямку зі сходу на захід. Виявляється, що це – результат реального обертання земної кулі навколо своєї осі з заходу на схід.

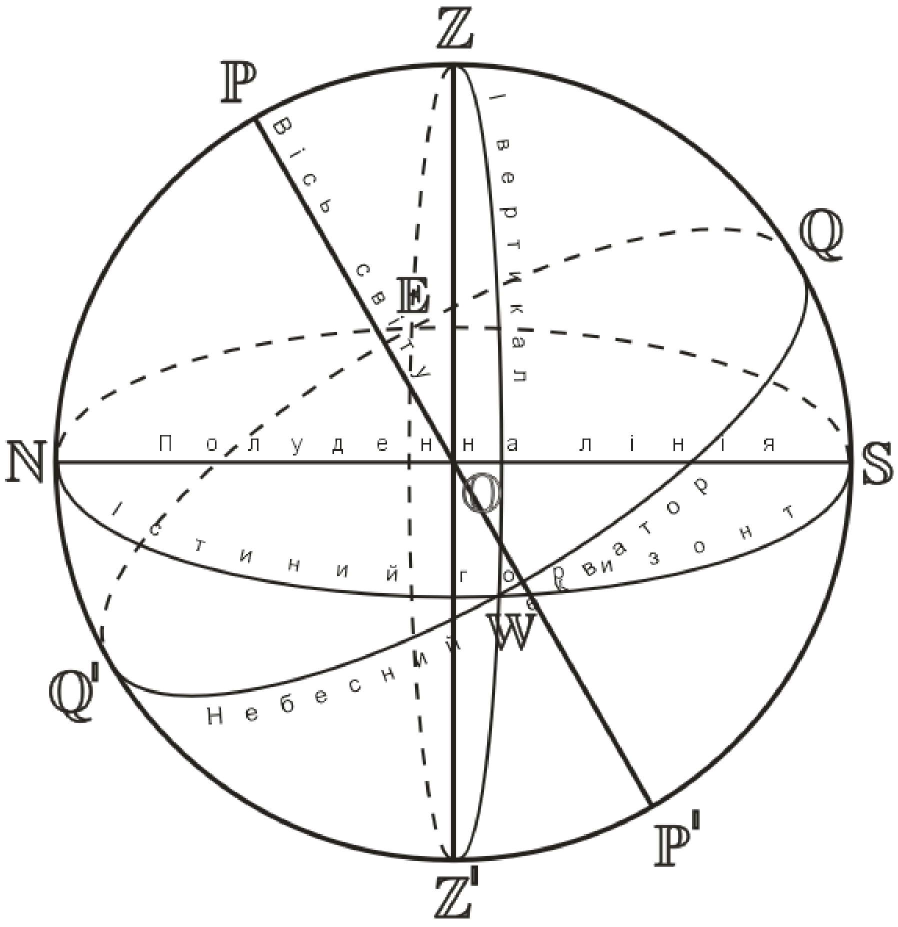


Рисунок 3.2 – Основні елементи небесної сфери

Уявне обертання небесної сфери – приклад того, як в астрономії постійно приходиться відрізняти видиме від істинного і як по видимих явищах, використовуючи той чи інший доказ, знаходити їх істинну причину.

Хоча в дійсності обертається Земля, проте в астрономії збережена термінологія для видимих явищ: схід і захід небесних тіл, добовий рух Сонця та Місяця, обертання зоряного неба тощо.

Видиме обертання небесної сфери протягом доби називається *добовим обертанням* і проходить воно навколо *осі світу* PP'.

Віссю світу називається пряма, проведена через точку спостереження, тобто центр сфери, паралельно осі обертання Землі. Це не що інше, як діаметр небесної сфери, навколо якого вона обертається. Вісь світу перетинає небесну сферу в двох точках, які називаються *полюсами світу*: P та P'. Для спостерігача в північній півкулі над горизонтом – північний полюс P, в південній півкулі – південний полюс P'. Слід запам'ятати, що кут **нахилу осі світу** PP' **до площини**

істинного горизонту визначається географічною широтою φ місця спостереження, тобто кут PON завжди дорівнює широті φ: $\angle PON = \varphi$.

Навколо осі світу відбувається добове обертання небесної сфери. Отже здається, що всі зірки, Сонце, Місяць описують кола, в центрі яких розташовані полюси світу. Поблизу північного полюса світу знаходиться досить яскрава зірка (зірка другої зоряної величини) Полярна Зірка, **α** сузір'я Малої Ведмедиці. Південний полюс світу, розташований над горизонтом місцевості південної півкулі Землі, знаходиться в сузір'ї Октанта і поблизу нього немає яскравих зірок.

Через дві прямі, лінію виска та вісь світу, які перетинаються, проходить площина, що називається *площиною небесного меридіана*. При перетині нею небесної сфери утворюється велике коло сфери $PZP'Z'$, яке називається *небесним меридіаном*.

Площина небесного меридіана ділить небесну сферу на східну та західну півсферу.

Небесний меридіан пов'язаний з місцем спостереження, для якого він незмінний. Кожний спостерігач може провести свій єдиний небесний меридіан або меридіан точки спостереження.

Небесний меридіан перетинається з істинним горизонтом по лінії NS, яка називається *полуденною лінією* , а точки N і S називаються точками півночі та півдня відповідно. Точка півночі N ближча до північного полюса світу, а точка півдня S ближча до південного полюса світу.

Дуга $PZSP'$ – називається південною половиною небесного меридіана, а дуга $PNZ'P'$ – північною половиною небесного меридіана.

Як же спостерігач може визначити у місці спостереження напрямок на точку S, полуденну лінію та площину свого меридіана? Для цього використовується прилад, який має вигляд вертикального стержня – гномон (рис. 3.3).

Відомо, що в істинний полудень Сонце сягає найбільшої висоти над горизонтом і його проекція на горизонт припадає точно на точку півдня S. У цей момент всі тіні вертикальних предметів стають найкоротшими та спрямовані точно на північ. І досить прослідити за тінню, що відкидає гномон (його тінь лягає уздовж лінії «північ–південь»), щоб визначити положення полуденної лінії.

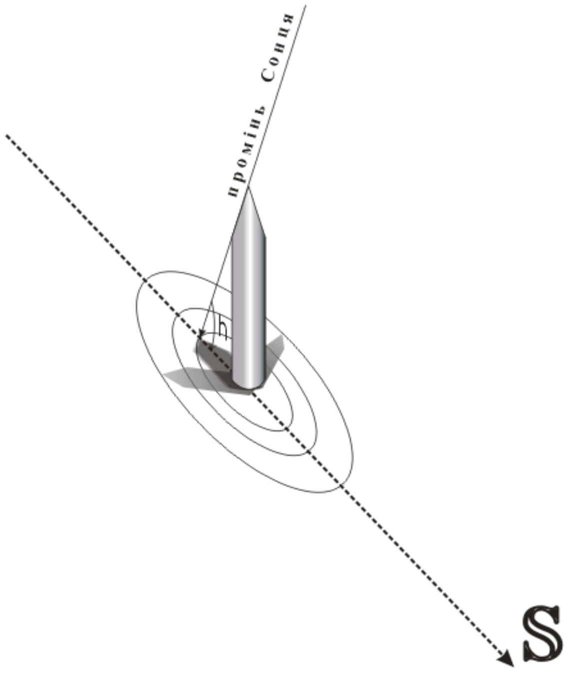


Рисунок 3.3– До поняття гномона

Таким чином, спостерігаючи за тінню гномона, можна знайти положення полуденної лінії (рис. 3.4). А якщо визначено положення точок півночі та півдня, легко визначити положення точок сходу та заходу.

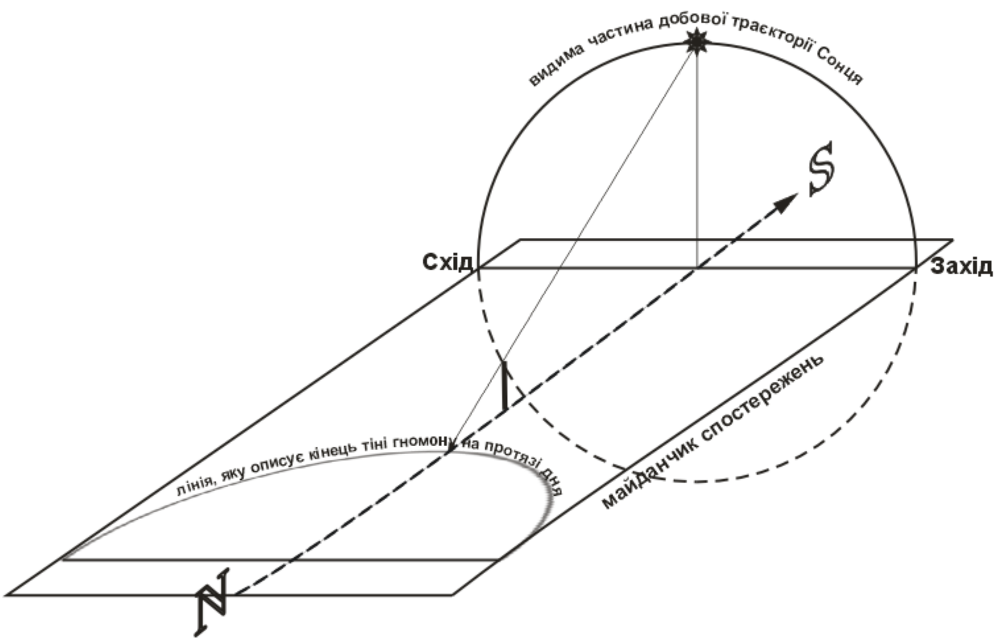


Рисунок 3.4– Визначення напрямку на точку півдня

Площина, проведена перпендикулярно до осі світу, називається площиною небесного екватора. Вона нахилана до горизонту під кутом $(90^0 - \varphi)$ і ділить небесну сферу на дві небесні півкулі – північну з вершиною на північному полюсі світу P та південну, вершиною якої є південний полюс світу P'. Ця площина в перетині з небесною сферою утворює велике коло, яке називають *небесним екватором*. Коло небесного екватора перетинається з колом істинного горизонту у двох діаметрально протилежних точках, що називаються *точками сходу* E та *заходу* W. Всі розглянуті точки (N, S, W, E) знаходяться на істинному горизонті і віддаленні одна від одної на 90°.

Ще раз зазначимо, що світила рухаються протягом доби по малих колах небесної сфери, площини яких паралельні площині небесного екватора. Ці малі кола називаються *небесними* або *добовими паралелями*. Кожне світило має свою добову паралель, тобто свою траєкторію добового руху.

Подібно до того, як для визначення положення точки на поверхні земної кулі, радіус якої відомий, достатньо знати дві кутові координати – широту та довготу, на поверхні небесної сфери довільного радіуса положення будь–якої точки можна визначити також двома кутовими сферичними координатами, що відраховуються певним способом від основних точок і кіл сфери.

Для визначення положення світил на небесній сфері використовуються ще деякі кола, а саме: коло висоти світила (вертикал світила) і коло схилення світила. *Колом висоти* світила називають велике коло небесної сфери, яке проходить через точки зеніт Z і надир Z' і світило M. *Коло схилення* світила – це велике коло, яке проходить через полюси світу P і P' і світило.

В залежності від того, що прийнято за основні площини та точки відліку в астрономії розроблено декілька систем астрономічних (або небесних) координат.

Запитання для самоперевірки

1. Як називається площина, яка проходить через центр небесної сфери перпендикулярно до лінії виска?
2. Як називається площина, яка проходить через центр небесної сфери перпендикулярно до осі світу?
3. Перетин яких кіл небесної сфери утворюють на істинному горизонті точку півночі N і точку півдня S?
4. Як називається лінія, яка з’єднує точку півночі N і точку півдня S?
5. Перетин яких кіл небесної сфери утворюють на істинному горизонті точку сходу E і точку заходу W?
6. Які кола небесної сфери в перетині утворюють точки Q і Q'?
7. Через які точки небесної сфери проходить вертикал світила?

8. Через які точки небесної сфери проходить коло схилення світила?

3.3 Практична частина

Завдання. Графічно зобразити небесну сферу з її елементами для різних широт φ = 0°, 20°, 40°, 60°, 90°. 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 $\boldsymbol{N}$ 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.

4 НЕБЕСНІ (АСТРОНОМІЧНІ) КООРДИНАТИ

Як вже згадувалось, небесні координати – це система чисел, які визначають положення різних об’єктів на небесній сфері по відношенню до деяких площин, ліній та точок. І в залежності від того, що прийнято за основну площину і за точку відліку в астрономії використовується декілька систем небесних координат: горизонтальна, екваторіальна, екліптична, галактична.

4.1 Горизонтальна система координат

Основною площиною горизонтальної системи координат є площина істинного горизонту, а початком відліку є точка півдня S. Полюсами цієї системи вважаються точки Z і Z'.

Положення світила на небесній сфері в цій системі координат визначають дві горизонтальні координати: *висота* h та *азимут* A.

Розглянемо це на рисунку 4.1.

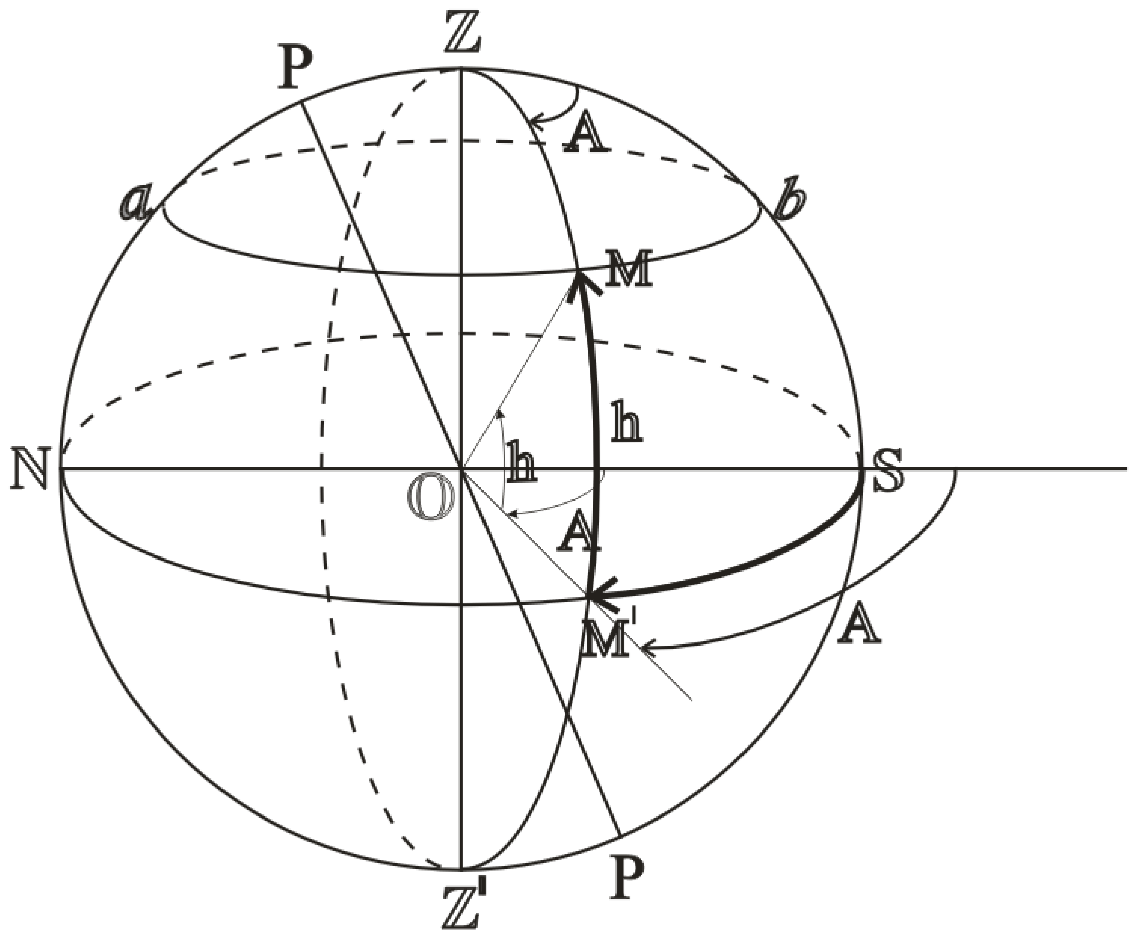


Рисунок 4.1 – Горизонтальна система координат

Нехай на небесній сфері знаходиться світило *M,* положення якого треба визначити. Для цього виконаємо додаткову побудову: проведемо вертикал світила через полюси даної системи координат Z і Z' та світило M. У перетині його з горизонтом в точці M' утворюється проекція світила на горизонт. Тоді положення точки M на небесній сфері може бути визначено за допомогою дуги MM', яка показує положення світила над горизонтом, і дугою SM', що визначає його положення по відношенню до точки S – початку відліку в цій системі координат. Точка S належить водначас істинному горизонту та небесному меридіану, тобто дуга SM' показує положення світила M відносно меридіана спостерігача. Дуга MM' стягує кут MOM' між площиною горизонту та напрямком на світило (промінь зору), тобто дуга MM' може бути виміряна кутом MOM'. Вона означає висоту світила над горизонтом і позначається h. *Отже, висотою світила* h *називається його кутова відстань від істинного горизонту, яка вимірюється по вертикалу світила.*

Висота світила відраховується від горизонту до зеніту, тобто від 0° до 90° . Якщо світило розташоване під горизонтом, його висота від'ємна і має значення від 0° до – 90°.

Замість висоти h часто застосовують зенітну відстань світила **z**. *Зенітною відстанню* світила z називається його кутова відстань від зеніту. Вочевидь, що $z = 90° - h$. Тоді вона відраховується від 0° до 180°. Ці координати, які доповнюють один одного, характеризують положення світила відносно горизонту і не вносять додаткової інформації.

Мале коло сфери abM, площина якого паралельна істинному горизонту є *колом однакових висот*.

Другою координатою горизонтальної системи є *азимут світила A,* який є *сферичним кутом при зеніті між площиною небесного меридіана і площиною вертикала світила.* Його можна виміряти дугою SM' істинного горизонту від точки відліку S в бік заходу до вертикала світила. Він змінюється в межах від 0° до 360°.

Інколи, при розв'язанні низки практичних задач азимут відраховується в обидва боки від точки півдня: в західному напрямку він вважається додатним (від 0° до 180°), а у східному – від'ємним (від 0 ° до – 180°).

Отже, в горизонтальній системі координат положення світила на небесній сфері визначається за допомогою A і h або A і z. Ці координати визначаються в результаті відносно простих спостережень.

Через добове обертання небесної сфери горизонтальні координати протягом доби безперервно змінюються, приймаючи в різні моменти часу різні значення. Це дозволяє заздалегіть розрахувати положення точок сходу і заходу світил, умови їх видимості в задані моменти часу, час сходу і заходу світил.

Але мінливість координат протягом доби є певним недоліком цієї системи, бо такі координати непридатні для складання зоряних карт і каталогів небесних об'єктів. Для цього маємо потребу в такій системі координат, в котрій обертання небесної сфери не впливало б на те, що координати змінюються.

Це можливо досягти в тому випадку, якщо координатна сітка обертається разом з небесною сферою. Така система координат грунтується на небесному екваторі і називається екваторіальною системою координат.

4.2 Екваторіальна система координат

Основною площиною в екваторіальній системі координат є площина небесного екватора. Полюсами даної системи є північний і південний полюси світу.

Існує дві системи екваторіальних координат: перша та друга. Маючи одну й ту ж основну площину, вони розрізняються точками початку відліку.

Початком відліку *першої екваторіальної системи* координат є верхня точка перетину небесного екватора з меридіаном, тобто *південна точка Q* небесного екватора, а початком відліку другої системи є *точка весняного рівнодення*, яка позначається знаком ♈ (знаком сузір'я Овна).

4.2.1 Перша екваторіальна система координат

Положення світила M на небесній сфері в першій екваторіальній системі координат визначається його *схиленням* δ і *годинним кутом* t (рис. 4.2). Для визначення цих координат виконаємо додаткову побудову, а саме: проведемо велике коло сфери через точки P, M і P', яке називається, як згадувалось, колом схилення світла. Воно перетинає небесний екватор в точці M', яка є проекцією світила на небесний екватор. Лінія OM, що з'єднує світило з центром небесної сфери, називається променем зору (напрям на світило). Положення світила відносно небесного екватора визначається дугою MM', а по відношенню до небесного меридіана – дугою QM' небесного екватора. Таким чином, *схиленням* δ *світила M називається його кутова відстань від небесного екватора (дуга M'M), яку відлічують уздовж кола схилення світила, тобто* δ *– це кут* $\angle MOM'$ *між площиною небесного екватора та напрямом на світило:* $\smile MM' = \angle MOM' = \delta$.

По відношенню до небесного екватора світила можуть знаходитись в північній (схилення додатне) або південній півкулі (схилення від'ємне). Значення схилення світил можуть бути в інтервалі від 0º до ±90º. Протягом доби кожне світило має своє незмінне схилення. Це зумовлено тим, що обертання небесної сфери проходить навколо осі світу і добові паралелі світил паралельні небесному екватору. Через величину схилення δ можна визначити *полярну відстань* p світила M. Вона дорівнює: $p = 90^\circ - \delta$.

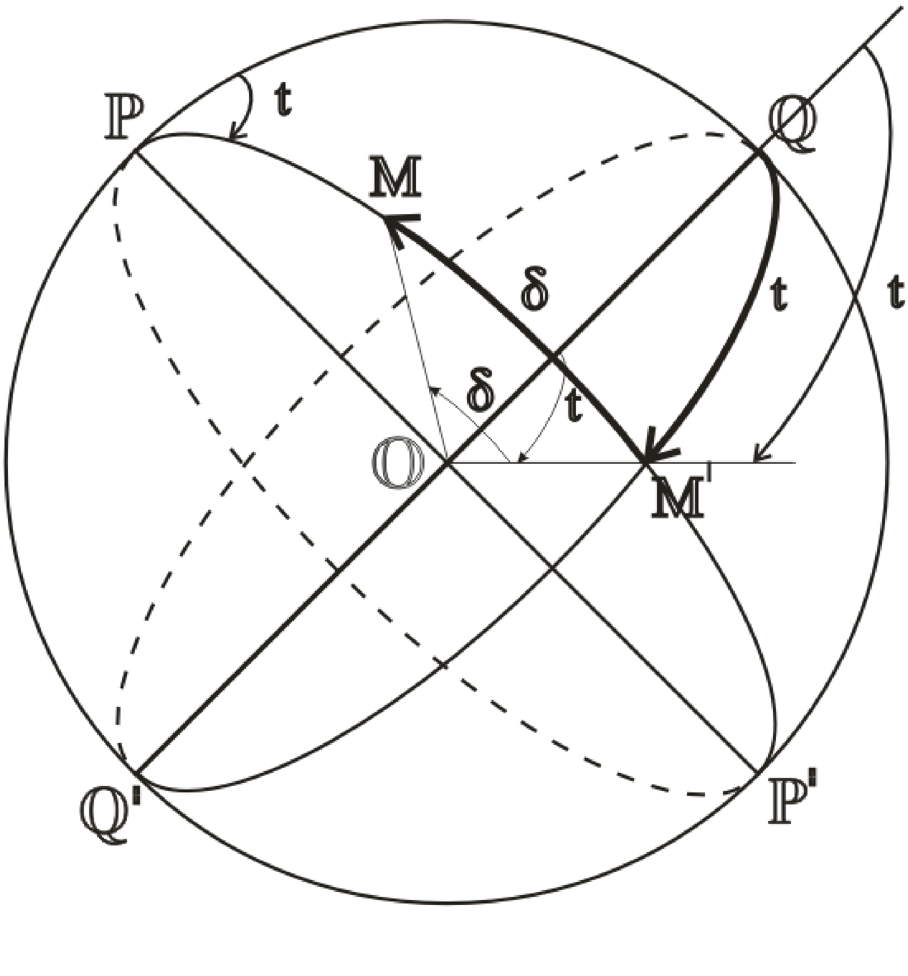


Рисунок 4.2 – Перша екваторіальна система координат

Друга координата світила – *годинний кут* t, який являє собою *сферичний кут при полюсі світу, утворений площиною небесного меридіана та площиною схилення світила*, і визначає положення світила відносно небесного меридіана. Годинний кут вимірюється *дугою небесного екватора між південною половиною меридіана спостерігача та колом схилення світила в бік заходу*, тобто це дуга небесного екватора від точки Q до M'. Таким чином,

$$\smile QM' = \angle QOM' = t.$$

Внаслідок добового обертання Землі в першій екваторіальній системі змінюється тільки годинний кут світила, який збільшується рівномірно і протягом доби змінюється від 0° до 360°, тому за його допомогою можна визначити час, що минув від моменту знаходження світила в меридіані спостерігача.

Якщо світило знаходиться в південній частині небесного меридіана, тобто проходить через південну частину меридіана точки спостереження, то $t = 0$; коли світило в північній частині небесного меридіана, то його $t = 180°$, в точці заходу $t = 90°$, в точці сходу $t = 270°$.

Через те, що зміна годинних кутів відбувається пропорційно часу, то годинні кути світил виражаються ще й в одиницях часу від 0 до 24 годин

$$0 \le t \le 24^{h}.$$

Для побудови зоряних карт і каталогів небесних об’єктів з метою постійного користування необхідно мати координати, які не змінюються внаслідок обертання небесної сфери. Для цього розроблено ще одну, *другу* екваторіальну систему координат.

4.2.2 Друга екваторіальна система координат

У другій екваторіальній системі координат положення світил визначається двома координатами: *схиленням світила* δ і *прямим сходженням* α.

За точку відліку в цій системі координат прийнято *точку весняного рівнодення* ♈, яка розташована на небесному екваторі і обертається разом з небесною сферою, тому положення всіх світил відносно неї протягом доби не змінюється. Ця точка утворюється при перетині небесного екватора з *екліптикою*, яка є траєкторією *видимого* річного руху Сонця навколо Землі (в курсі "Геофізика" це поняття викладається як справжня траєкторія річного руху Землі навколо Сонця). Екліптика – це велике коло сфери. Сонце, рухаючись по екліптиці відносно зірок проти годинникової стрілки, перетинає небесний екватор в точці весняного рівнодення, переходячи з південної півкулі у північну; і в точці осіннього рівнодення, коли переходить з північної півкулі в південну. Ці дуже важливі точки небесної сфери були відомі вже в глибокій давнині. Вони припадають на дати, близькі до 21 березня і 23 вересня відповідно.

Отже, *точкою весняного рівнодення* ♈ *називається точка, в якій Сонце, рухаючись по екліптиці, перетинає небесний екватор в день весняного рівнодення, переходячи з південної півкулі в північну.*

Положення всіх світил відносно точки весняного рівнодення вимірюється дугою $\cup \Upsilon M'$ небесного екватора між точкою весняного рівнодення і колом схилення світила. Ця дуга, яка залишається незмінною протягом доби, називається *прямим сходженням* (піднесенням) α світила і визначає відстань світила від точки Υ (рис. 4.3**).**

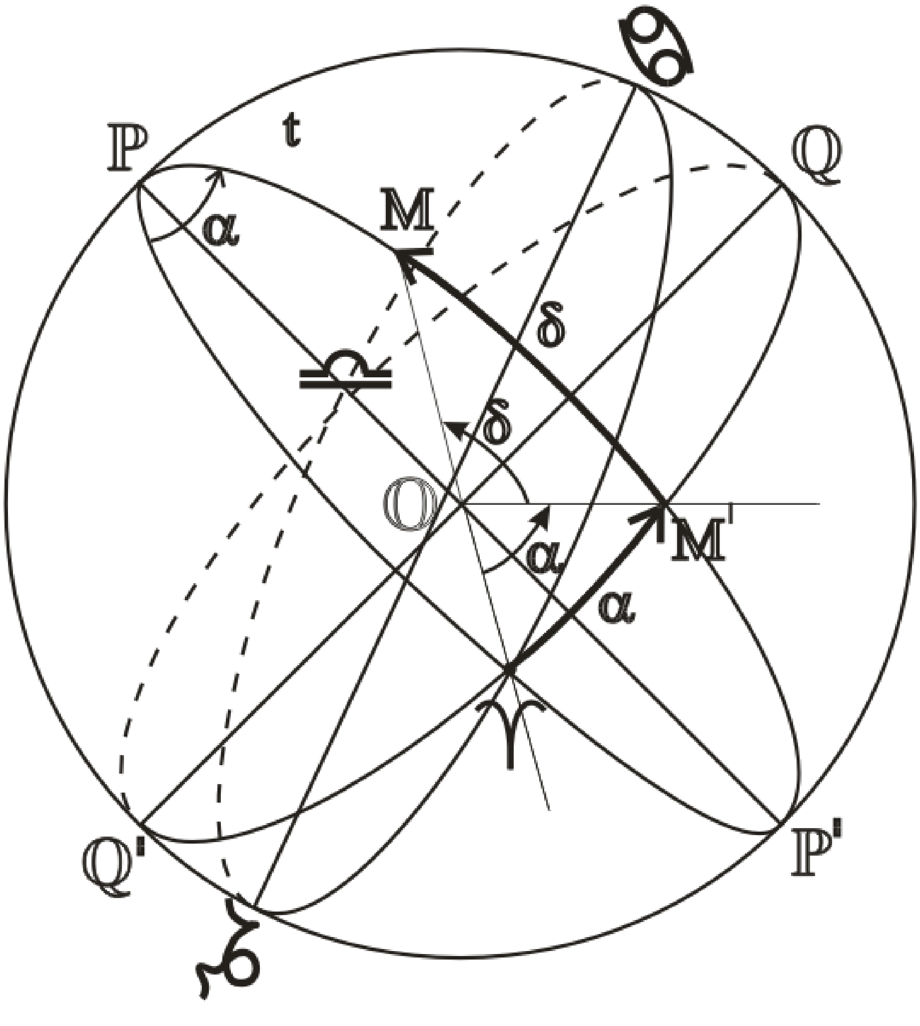


Рисунок 4.3 – Друга екваторіальна система координат

Таким чином, *прямим сходженням світила є його кутова відстань від точки весняного рівнодення, яка визначається дугою небесного екватора від точки весняного рівнодення до кола схилення світила.*

Пряме сходження α світила M завжди додатне, відраховується вздовж небесного екватора від точки Υ тільки в одному напрямку – із заходу на схід, тобто проти годинникової стрілки, вимірюється в межах від 0° до 360°, а частіш усього в одиницях часу від 0^h до 24^h годин.

Отже, екваторіальні координати δ і α зірок і інших не менш віддалених небесних об'єктів залишаються практично незмінними протягом порівняно тривалих проміжків часу. Вони визначаються за допомогою розрахунків на основі відповідних спостережень і використовуються для побудови карт зоряного неба, каталогів.

Визначення екваторіальних координат найбільш віддалених від Землі небесних об'єктів – *квазарів*, положення яких на небесній сфері практично не змінюється, дозволяє встановити надійну інерційну систему відліку.

Між годинним кутом t (координата першої екваторіальної системи) та прямим сходженням α (координата другої екваторіальної системи) існує певний зв'язок.

Зв'язок між прямим сходженням α та годинним кутом t світила

Якщо пряме сходження α світила M – дуга $\cup \Upsilon M'$ небесного екватора, яка відраховується від точки Υ проти годинникової стрілки до точки перетину кола схилення з небесним екватором, а годинний кут t світила M – дуга $\cup QM'$ небесного екватора між меридіаном спостерігача і колом схилення світила, то сума цих двох дуг $\cup \Upsilon M' + \cup QM' = \cup \Upsilon Q$ і є годинним кутом точки весняного рівнодення t_γ (рис 4.4).

Годинний кут точки весняного рівнодення t_γ називають *зоряним часом* і визначається за допомогою рівняння

$$S = t_\gamma = \alpha + t\,.$$

Він дає час, який минув з моменту проходження точки весняного рівнодення через меридіан точки спостереження.

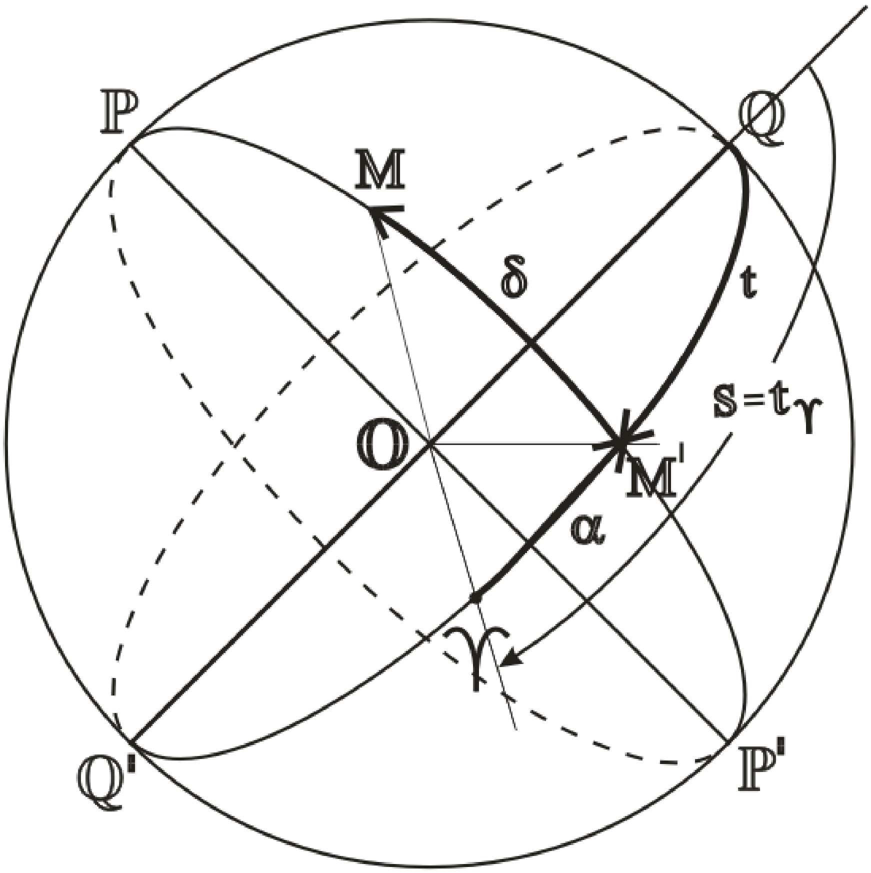


Рисунок 4.4 – Зв'язок між прямим сходженням та годинним кутом світила

Положення точки ϒ на небесній сфері не позначено, тому виміряти її годинний кут неможливо. Але якщо світило M знаходиться в південній половині небесного меридіана (годинний кут його в цей момент дорівнює нулю), то зоряний час буде визначатись тільки прямим сходженням цього світила $S = t_\gamma = \alpha$.

Незмінні координати α і δ сотень тисяч зірок надаються у каталогах, публікуються в астрономічних щорічниках. На їх основі можна обчислити зоряний час S на момент спостережень, що дозволяє розрахувати годинний кут світила $t = S - \alpha$, який вказує положення світила відносно небесного меридіана.

4.4 Зв’язок між висотою полюса світу та широтою місця спостереження (теорема про висоту полюса світу)

Якщо дивитись на Земну кулю **з боку Всесвіту**, то положення осі світу не змінюється і в будь–якій точці земної поверхні вона завжди паралельна осі обертання Землі. Напрям же прямовисної лінії, а отже і площини істинного горизонту, яка є дотичною до поверхні Землі, змінюється при зміні широти місця спостереження (рис. 4.5).

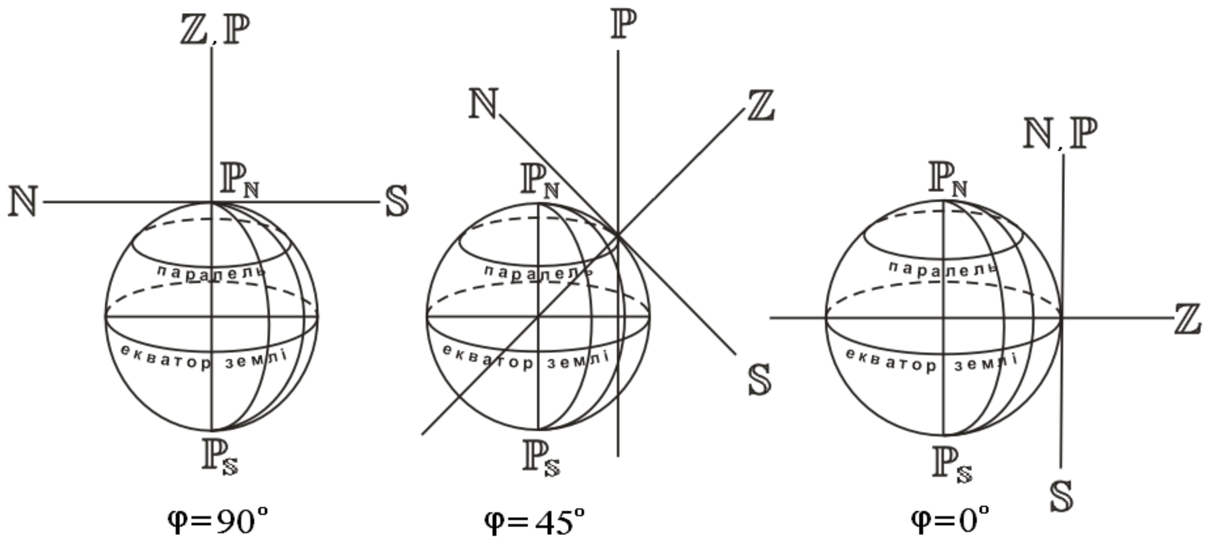


Рисунок 4.5 – Зміна положення прямовисної лінії в залежності від положення спостерігача на земній кулі

Якщо ж розглядати елементи небесної сфери з позиції спостерігача, який знаходиться на земній кулі, то незмінними для нього завжди будуть лінія виска (вертикальна лінія) і площина істинного горизонту, яка перпендикулярна до неї. Нахил же осі світу до площини істинного горизонту змінюється в залежності від широти місця спостереження: кут між ними завжди дорівнює широті місця спостереження.

Таким чином, взаємне розташування кіл та точок небесної сфери, зв’язаних з віссю світу та прямовисною лінією, завжди залежить від положення спостерігача на поверхні Землі. Ця залежність формулюється у вигляді теореми: *висота полюса світу* h_P *над горизонтом даної місцевості дорівнює географічній широті* φ *місця спостереження* (рис.4.6). Іншими словами, *нахил осі світу до горизонту спостерігача, дорівнює широті місця спостереження.*

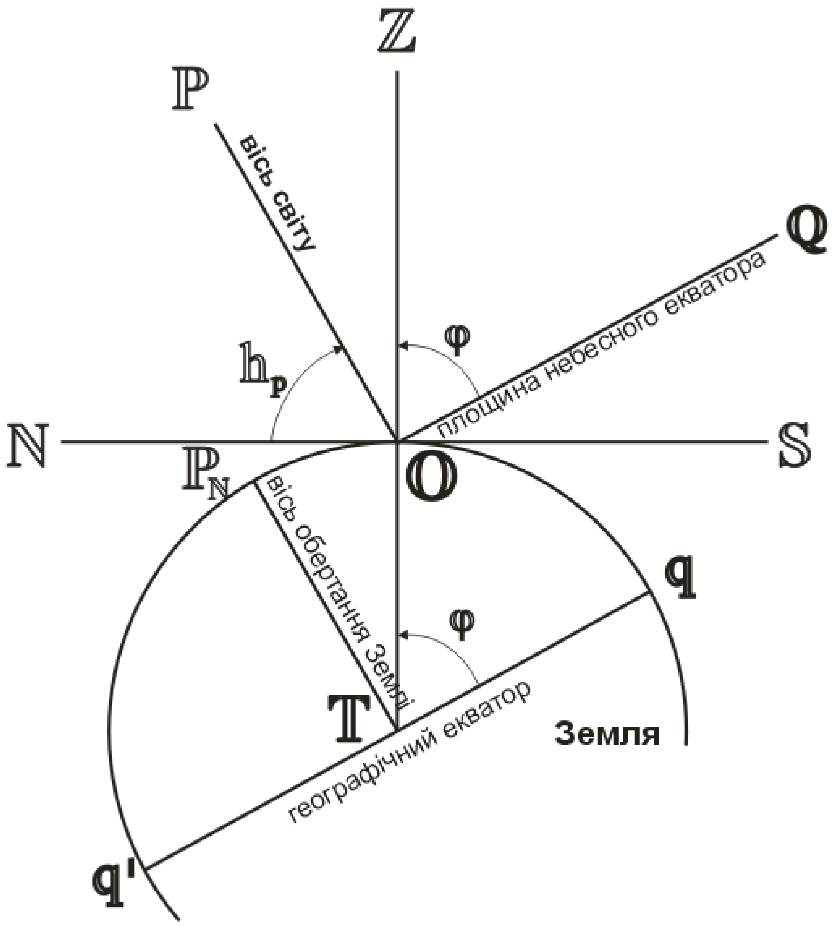


Рисунок 4.6 – Зв'язок між висотою полюса світу та географічною широтою

<u>Доведення теореми про висоту полюса світу над горизонтом даної місцевості.</u>

З рисунку безпосередньо можна бачити, що $\angle PON = h_p$, а кут $\angle OTq = \varphi$ (за визначенням). Кути $\angle PON$ та $\angle OTq$ – це кути з взаємно перпендикулярними сторонами ($NO \perp OT, OP \perp Tq$ (за визначенням)), як відомо з геометрії, такі кути є рівними. Тобто $\angle PON = \angle OTq = \varphi$, а значить $h_p = \varphi$.

Теорему доведено.

З викладеного випливає, що широті місця спостереження φ дорівнюють також :

1. схилення зеніту ($\delta_Z = \varphi$),
2. полярна відстань точки півночі ($P_N = \varphi$),

3. зенітна відстань верхньої точки екватора ($z_Q = \varphi$).

Це ілюструє рисунок 4.7, на якому всі елементи небесної сфери подані в проекції на площину небесного меридіана.

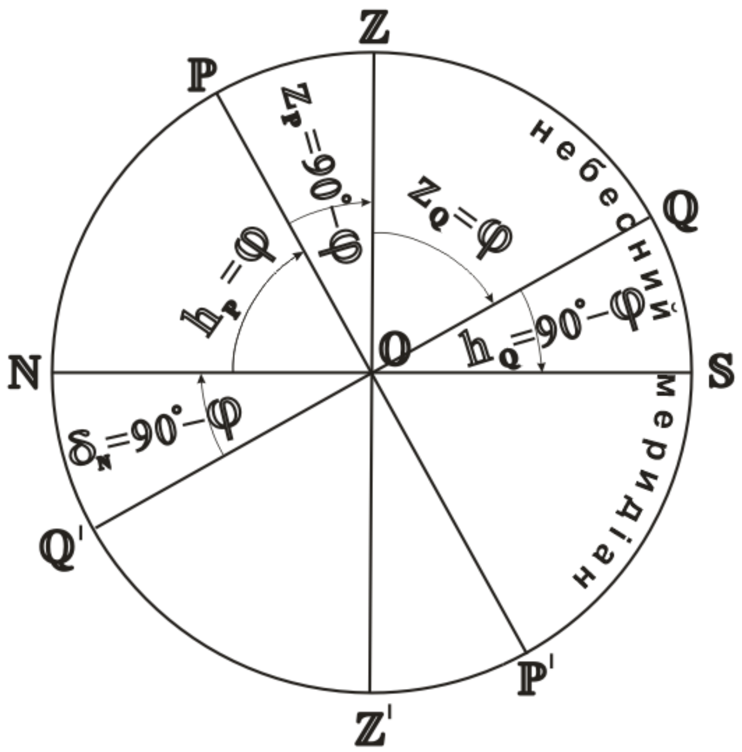


Рисунок 4.7 – Проекція небесної сфери на площину небесного меридіана

Оскільки $z + h = 90°$, то зенітна відстань північного полюса світу $z_P = 90° - h_P = 90° - \varphi$.

Тоді величині ($90^o - \varphi$) дорівнюють також:

1. полярна відстань зеніта ($p_Z = 90° - \varphi$),

2. схилення точки півночі ($\delta_N = 90° - \varphi$),

3. висота верхньої точки екватора ($h_Q = 90° - \varphi$), тобто кут нахилу площини небесного екватора до горизонту дорівнює ($90° - \varphi$).

Зображуючи небесну сферу, ми надто довільно проводили вісь світу. Проте, як відомо, у кожному конкретному місці спостереження вона має чітко визначений нахил, про що говорить теорема про висоту полюса світу.

Поблизу полюса світу P є точка – Полярна зірка і широта місця φ з точністю до 1° може бути визначена по висоті Полярної зірки над горизонтом: Полярну зірку в різних широтах Земної кулі спостерігають на різній висоті над горизонтом (рис. 4.8).

Рисунок 4.8– Визначення положення Полярної зірки на небі за допомогою сузір'я Малої Ведмедиці (латинською Ursa Minor)

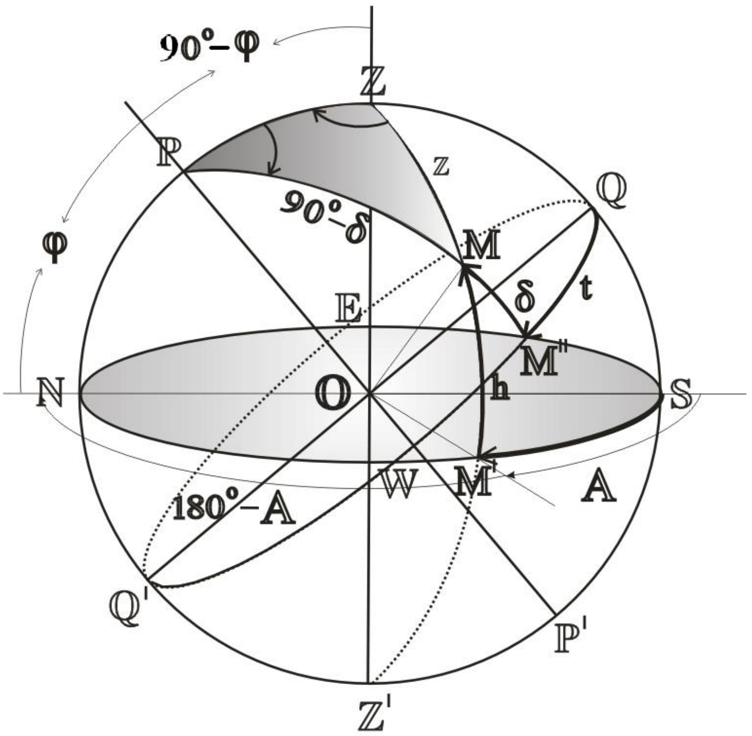
Якщо Полярна зірка для спостерігача в даному місці лежить на горизонті, тобто її висота h = 0°, то спостерігач на екваторі φ = 0°.

Якщо Полярна зірка в зеніті h = 90°, спостерігач знаходиться на полюсі φ = 90°. Якщо спостерігач не бачить Полярну зірку – він в південній півкулі. Це означає, що *географічна широта* φ *місця дорівнює висоті полюсу світу над горизонтом даного місця*.

4.5 Паралактичний трикутник та перетворення небесних координат

Паралактичним трикутником PMZ називається фігура на поверхні небесної сфери, яка утворена дугами трьох великих кіл сфери: небесного меридіана, кола схилення та кола висоти світила. Вершини його – північний полюс P, зеніт Z і світило M (рис. 4.9). Сторонами цього трикутника є дуга PZ небесного меридіана, дуга ZM вертикала світила, дуга PM кола схилення світила; кутами – сферичні кути при полюсі світу P і при зеніті Z.

а)



б)

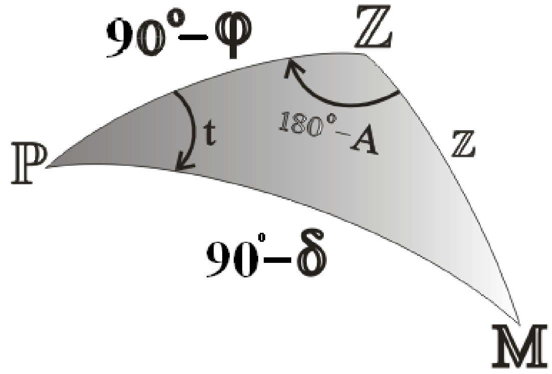


Рисунок 4.9 – Паралактичний трикутник
а) на небесній сфері
б) елементи паралактичного трикутника

Як з’ясовано, в будь–який момент часу положення світила ***M*** на небесній сфері може бути визначено в горизонтальній системі координат висотою h і азимутом A, а в екваторіальній системі координат – схиленням δ і годинним кутом t. Інколи виникає необхідність розрахунку координат світила в одній системі на основі його відомих координат в іншій системі.

Перехід від одної системи координат в іншу називається *перетворенням координат.* Воно здійснюється на основі паралактичного трикутника з використанням формул сферичної тригонометрії.

Паралактичний трикутник та його елементи надано на рис. 4.9. Тут його сторони:

$$\cup PZ = Z_p = 90° - \varphi\ ; \quad \cup ZM = Z_M = 90° - h; \quad \cup PM = 90° - \delta;$$

кут при північному полюсі дорівнює t, при зеніті – $(180 \ - A)$, а кут при світилі M називається *паралактичним* і при перетворенні координат не використовується.

Для обчислення горизонтальних координат h (або z) і A за відомими екваторіальними координатами δ і t використовуються формули косинусів, синусів, п'яти елементів.

За формулою косинусів:

$$\cos z = \cos(90° - h) = \sin h, \tag{4.1}$$

$$\cos z = \cos\left(90° - \delta\right)\cos\left(90° - \varphi\right) + \sin\left(90° - \delta\right)\sin\left(90° - \varphi\right)\cos t, \tag{4.2}$$

$$\cos z = \sin h = \sin\delta \cdot \sin\varphi + \cos\delta \cdot \cos\varphi \cdot \cos t. \tag{4.3}$$

За формулою синусів:

$$\frac{\sin\left(90° - h\right)}{\sin t} = \frac{\sin\left(90° - \delta\right)}{\sin\left(180° - A\right)} \tag{4.4}$$

або

$$\sin\left(90° - h\right) \cdot \sin\left(180° - A\right) = \sin\left(90° - \delta\right) \cdot \sin t \tag{4.5}$$

$$\cos h \cdot \sin A = \cos\delta \cdot \sin t \quad (4.6).$$

Звідси

$$\sin A = \frac{\cos\delta}{\cos h}\sin t, \tag{4.7}$$

де $0^\circ \le A \le 360^\circ$.

Якщо $\sin A > 0$, то кут цей може належати першій або другій чверті ($0^\circ < A < 180^\circ$), якщо $\sin A < 0$, то кут – третій або четвертій чверті ($180^\circ < A < 360^\circ$). Для уточнення величини A за формулою 5–ти елементів одержують ще одну формулу, яка зв'язує елементи паралактичного трикутника:

$$\sin z \cos\left(180^\circ - A\right) = \cos\left(90^\circ - \delta\right)\sin\left(90^\circ - \varphi\right) -$$

$$-\sin\left(90^\circ - \delta\right)\cos\left(90^\circ - \varphi\right)\cos t, \tag{4.8}$$

$$\sin z\left(-\cos A\right) = \sin\delta\cos\varphi - \cos\delta\sin\varphi\cos t \tag{4.9}$$

$$\sin z\cos A = -\sin\delta\cos\varphi + \cos\delta\sin\varphi\cos t \tag{4.10}$$

В цій формулі $\sin z$ завжди > 0 (бо z змінюється від 0° до 180°) і знак формули буде визначати знак $\cos A$**.** Зіставляючи знак синуса A з формули (4.7) і косинус A з формули (4.10) завжди можна встановити положення світила в тому чи іншому квадранті.

Наведені тут формули широко використовуються для з'ясування умов видимості світил, екваторіальні координати α і δ яких визначають з астрономічних календарів, а годинний кут їх обчислюється як $t = S - \alpha$, де S – зоряний час.

Для обчислювання екваторіальних координат δ і $\boldsymbol{t}$ за відомими горизонтальними координатами h, z і A розрахунки виконуються аналогічно.

За формулою косинусів:

$$\sin\delta = \sin h \cdot \sin\varphi - \cos h \cdot \cos\varphi \cdot \cos A$$

або

$$\sin\delta = \cos z \cdot \sin\varphi - \sin z \cdot \cos\varphi \cdot \cos A. \tag{4.11}$$

За формулою синусів:

$$\cos\delta \cdot \sin t = \cos h \cdot \sin A, \tag{4.12}$$

$$\sin t = \frac{\cos h}{\cos\delta}\sin A, \qquad (4.13)$$

За формулою п’яти елементів:

$$\cos\delta\cdot\cos t = \sin h\cdot\cos\varphi + \cos h\cdot\sin\varphi\cdot\cos A, \qquad (4.14)$$

Знак δ визначається знаком $\sin\delta$ з рівняння (4.11), а квадрант для t вибирається за знаком правої частини рівнянь (4.13, 4.14) по знаку $\sin t$ і $\cos t$**.**

Запитання для самоперевірки

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.

4.6 Практична частина

В практичній частині розглядаються способи наближеного графічного розв'язання різних задач на небесній сфері, що сприяє розвитку просторової уяви і дозволяє оцінити можливі результати обчислень. Для розв'язання таких задач необхідно, перш за все, побудувати небесну сферу з її елементами для спостерігача, який знаходиться на даній широті місця, і визначити положення на ній світила.

Розв'язати задачі:

1. Зобразити графічно положення світила на небесній сфері з азимутом $A = 45°$ та висотою $h = 45°$ ($\varphi = 20°$).

2. Зобразити графічно положення світила на небесній сфері зі схиленням $\delta = 90°$, годинним кутом $t = 45°$ ($\varphi = 20°$).

3. Для пункту з широтою $\varphi = 30°$ визначити висоту та азимут світила за відомими екваторіальними координатами $\delta = 25^0 30'$ та $t = 50^0 30'$. Роботу виконати графічною побудовою небесної сфери.

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

5. Обчислити зенітну відстань, висоту та азимут за відомими прямим сходженням та годинним кутом світила. Зробити побудову небесної сфери, показати положення світила на небесній сфері та його добову паралель. Дані для розрахунків знаходяться нижче в таблиці:

№ п/п	Пункт спостереження, широта пункту	Об'єкт/ сузір'я, в якому знаходиться об'єкт	Схилення об'єкта	Годинний кут об'єкта
1	2	3	4	5
1	Москва $\varphi = 55°45'$	зірка α Райська Птиця	$\delta = 79°$	$t = 14^h 48^m$
2	Санкт–Петербург $\varphi = 59°56'.6$	зірка α Водолій	$\delta = -0°.3$	$t = 22^h 06^m$
3	Київ $\varphi = 50°27'$	зірка α /Скорпіон	$\delta = -26°.4$	$t = 16^h 29^m$
4	Одеса $\varphi = 46°29'$	спіральна Галактика/ Діва	$\delta = -11°.6$	$t = 12^h 40^m$
5	Тбілісі $\varphi = 41°43'$	Зірка α Діва	$\delta = -11°.2$	$t = 13^h 25^m$

Продовження таблиці

1	2	3	4	5

6	Архангельськ $\varphi = 64°35'$	зірка α Велика Ведмедиця	$\delta = +61°.8$	$t = 11^h 04^m$
7	Аддис-Абеба $\varphi = 9°$	зірка α Стрілець	$\delta = -40°.6$	$t = 19^h 23^m$
8	Ташкент $\varphi = 41°20'$	зірка α Риби	$\delta = +2°.8$	$t = 2^h 02^m$
9	Іркутськ $\varphi = 52°16'$	зірки α Терези	$\delta = -16°.0$	$t = 14^h 50^m$
10	Сімферополь $\varphi = 45°$	зірки α Телець	$\delta = +16°.5$	$t = 4^h 36^m$
11	Саратов $\varphi = 51°32'$	зірки α Близнята	$\delta = +31°.9$	$t = 7^h 35^m$

6. Обчислити полярну відстань, схилення та годинний кут за відомими азимутом та зенітною відстаню світила. Зробити побудову небесної сфери, показати положення світила на небесній сфері та його добову параллель. Дані для розрахунків знаходяться нижче в таблиці.

№ п/п	Пункт спостереження, широта пункту	Об'єкт/ сузір'я, в якому знаходиться об'єкт	Зенітна відстань об'єкта	Азимут об'єкта
1	2	3	4	5
1	Москва $\varphi = 55°45'$	зірка α Райська Птиця	$z = 153°1'.5$	$A = 343°39'.1$
2	Санкт–Петербург $\varphi = 59°56'.6$	зірка α Водолій	$z = 63°35'.8$	$A = 327°48'.6$
3	Київ $\varphi = 50°27'$	зірка α Скорпіон	$z = 124°17'.5$	$A = 271°6'.7$
4	Одеса $\varphi = 46°29'$	спіральна Галактика Діва	$z = 144°6'.4$	$A = 196°52'$
5	Тбілісі $\varphi = 41°43'$	зірка α Діва	$z = 144°15'.6$	$A = 217°29'.6$
6	Архангельськ $\varphi = 64°35'$	зірка α Велика Ведмедиця	$z = 53°11'.4$	$A = 171°47'.4$
7	Аддис-Абеба $\varphi = 9°$	зірка α Стрілець	$z = 80°34'$	$A = 313°57'.95$
8	Ташкент $\varphi = 41°20'$	зірка α Риби	$z = 47°15'.1$	$A = 43°39'.3$

Продовження таблиці				
1	2	3	4	5

9	Іркутськ $\varphi = 52°16'$	зірки α Терези	$z = 130°40'.2$	$A = 238°53'.6$
10	Сімферополь $\varphi = 45°$	зірки α Телець	$z = 63°39'.2$	$A = 87°18'.3$
11	Саратов $\varphi = 51°32'$	зірки α Близнята	$z = 78°24'.1$	$A = 127°30'.5$

Приклади розв´язання задач по перетворенню небесних координат

Задачі по перетворенню небесних координат можна розв'язувати графічним і аналітичним способом.

Задача 1. Положення світила M на небесній сфері визначається такими горизонтальними координатами: h = 45º, A = 60º. Знайти *графічним* способом його екваторіальні координати δ і t на цей момент. Спостерігач знаходиться на широті 50º.

Графічне розв´язання. 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 = 60º. 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 = 45º 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 φ = 50º). 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 90º. Виконання цієї задачі надано на рисунку 4.9.

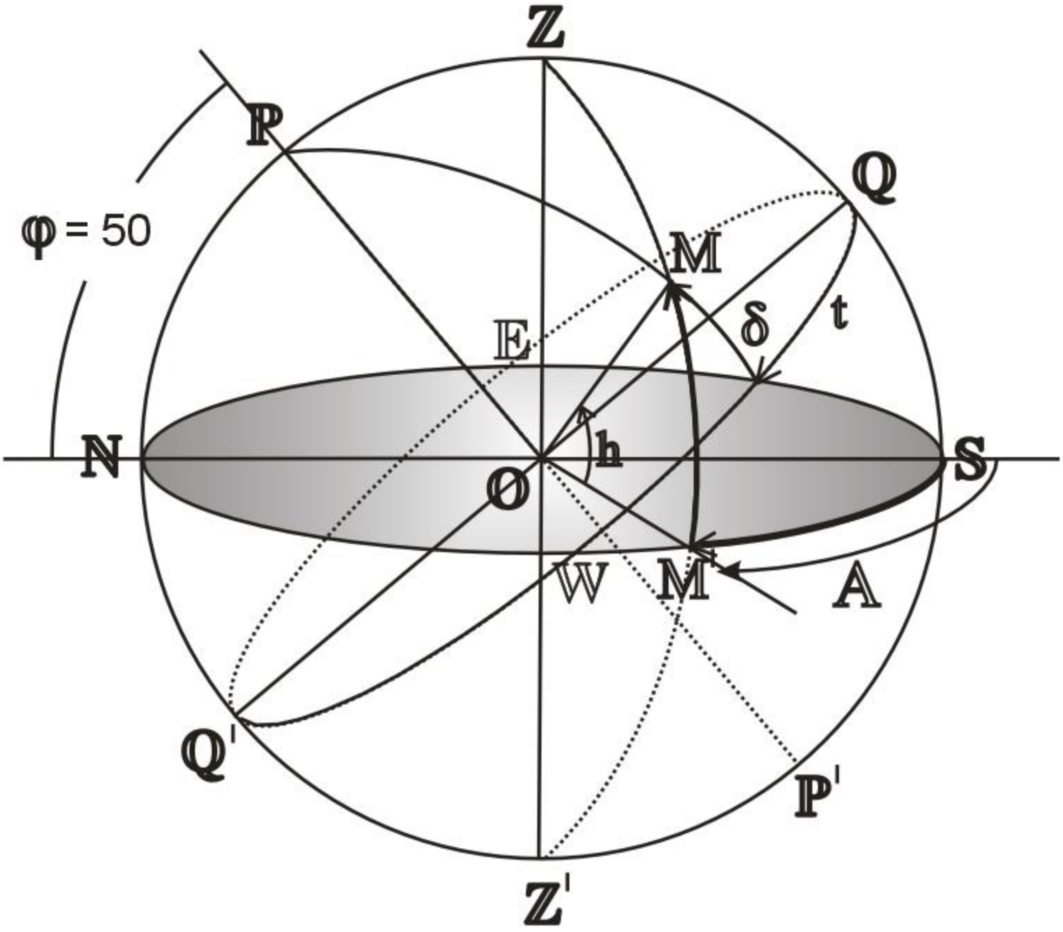


Рисунок 4.9 – До розв´язання задачі 1

<u>*Задача 2.*</u> Положення світила M на небесній сфері подано такими екваторіальними координатами: δ = 30°, t = 60°. Визначити *графічним* способом його горизонтальні координати h і A на цей момент. Спостерігач знаходиться на широті 40°.

<u>Графічне розв´язання.</u> 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. Для цього по колу небесного екватора в напрямку годинникової стрілки від точки Q відкладають годинний кут t = 60°. 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 δ = 30° 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 90º. Виконання цієї задачі надано на рисунку 4.10.

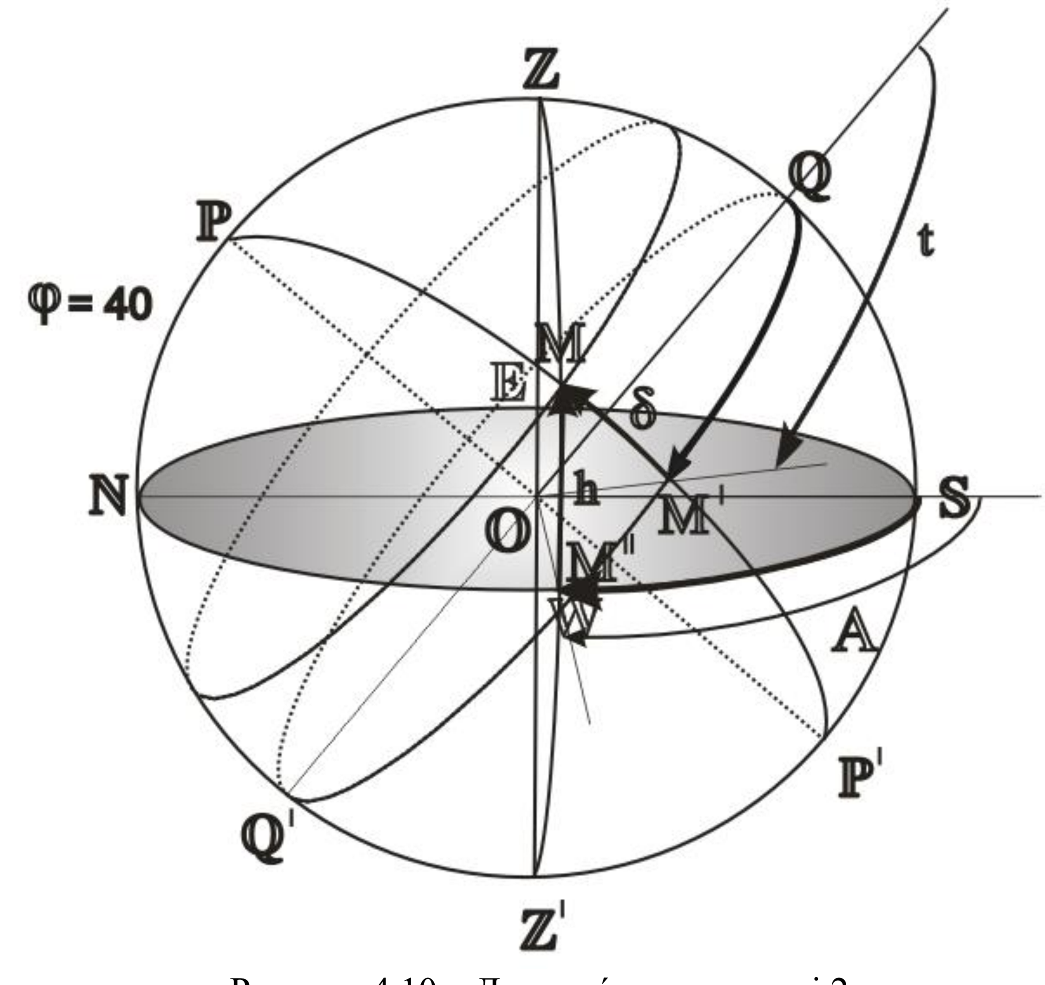
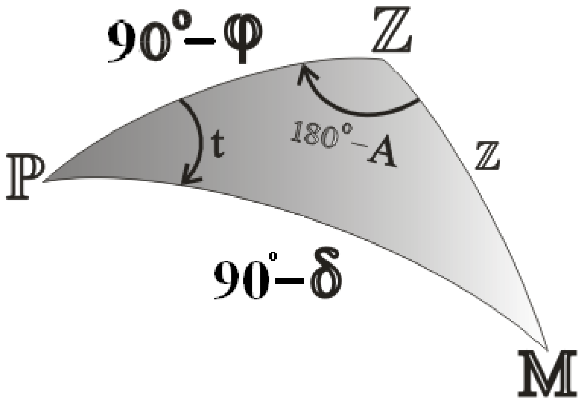


Рисунок 4.10 – До розв´язання задачі 2

Аналітичне розв’язання.

Задача 1. Положення світила M на небесній сфері визначається такими горизонтальними координатами: h = 45º, A = 60º. Знайти *аналітичним* способом його екваторіальні координати δ і t на цей момент. Спостерігач знаходиться на широті 50º.

Нижче подано умови задачі 1 у стислій формі запису та графічно.



<u>Відомі характеристики:</u>

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

$\text{ZM} = z = 90^{\circ} - h = 45^{\circ}$;

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

$\text{PZ} = 90^{\circ} - \varphi = 45^{\circ}$.

<u>Треба знайти:</u>

$\angle\text{MPZ} = t$;

$\text{PM} = p = 90^{\circ} - \delta$.

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

$$\sin\delta = \sin\varphi \cdot \cos z - \cos\varphi \cdot \sin z \cdot \cos A. \qquad (4.15)$$

Для того щоб визначити δ достатньо однієї формули, оскільки δ змінюється в межах від 0° до ±90°, 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 $180^{0} - t$ і щоб визначити на яку чверть припадає t, треба визначити і $\sin t$, і $\cos t$. Для цього скористаємося формулами (4.12)–(4.14):

$$\sin t \cdot \cos\delta = \sin z \cdot \sin A, \qquad (4.16)$$

$$\cos\delta \cdot \cos t = \cos\varphi \cdot \cos z + \sin\varphi \cdot \sin z \cdot \cos A. \qquad (4.17)$$

Щоб спростити розрахунки пропонуємо наступну схему: спочатку обчислити синуси та косинуси вихідних даних, а далі вже скористатись формулами (4.15)–(4.17). Округляти бажано до п’ятого знака, бо менша точність буде давати завелику похибку у частках кутових хвилин, тобто у секундах.

$\sin\varphi = \sin 50° = 0.76604$	$\sin z = \sin 45° = 0.70711$	$\sin A = \sin 60° = 0.86602$
$\cos\varphi = \cos 50° = 0.64279$	$\cos z = \cos 45° = 0.70711$	$\cos A = \cos 60° = 0.50000$

Результати обчислень за формулами (4.15)–(4.17):

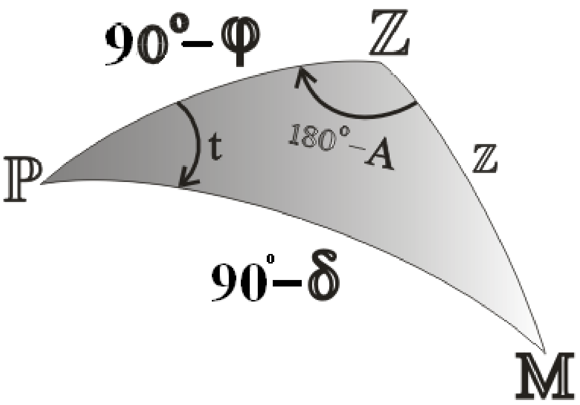
№ дії	Зміст	Результат	
1	$\cos\varphi \sin z$	0.45452	
2	$\sin\varphi \cos z$	0.54167	
3	$\cos\varphi \sin z \cos A$	0.22726	
4	$(№2)-(№3)=\sin\delta$	0.31441	
5	δ	18°.3252	18°19′.5
6	$\cos\delta$	0.94929	
7	$\sin z \sin A$	0.61237	
8	$(№7):(№6)=\sin t$	0.64508	
9	t_1	40°.1718	40°10′.3
10	$\sin\varphi \sin z$	0.54167	
11	$\sin\varphi \sin z \cos A$	0.27084	
12	$\cos\varphi \cos z$	0.45452	
13	$(№11)+(№12)$	0.72536	
14	$(№13)\div(№6)=\cos t$	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°10′.3 без будь-яких виправлень.

Задача 2. Положення світила M на небесній сфері подано такими екваторіальними координатами: δ = 30º, t = 60º. Визначити *аналітичним* способом його горизонтальні координати h і A на цей момент. Спостерігач знаходиться на широті 40º.

Нижче подано умови задачі 2 у стислій формі запису та графічно.



Відомі характеристики:
$\varphi = 40^\circ, \delta = 30^\circ, t = 60^\circ$;
$\angle \mathrm{MPZ} = t$;
$\mathrm{PM} = p = 90^\circ - \delta$;
$\mathrm{PZ} = 90^\circ - \varphi = 50^\circ$.
Треба знайти:
$\mathrm{ZM} = z = 90^\circ - h$;
$\angle \mathrm{PZM} = 180^\circ - A$.

Скористаємось формулами:

$$\cos z = \sin\delta \cdot \sin\varphi + \cos\delta \cdot \cos\varphi \cdot \cos t, \tag{4.27}$$

$$\sin A \cdot \sin z = \sin t \cdot \cos\delta, \tag{4.28}$$

$$\sin z \cdot \cos A = -\cos\varphi \cdot \sin\delta + \sin\varphi \cdot \cos\delta \cdot \cos t, \tag{4.29}$$

Для того щоб визначити достатньо формули (4.27), 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 $(180° - A)$. Для того, щоб визначити на яку чверть припадає A, треба знайти і cos A, і sin A. Для цього скористаємось формулами (4.28)–(4.29).

Розрахунки проводять за наступною схемою: спочатку обчислюють синуси та косинуси вихідних даних, а далі використовують формули (4.27)–(4.29).

$\sin\varphi = \sin 40° = 0.64279$ $\quad \sin\delta = \sin 30° = 0.50000$ $\quad \sin t = \sin 60° = 0.86602$
$\cos\varphi = \cos 40° = 0.76604$ $\quad \cos\delta = \cos 30° = 0.86602$ $\quad \cos t = \cos 60° = 0.50000$

Результати розрахунків за формулами (4.27)–(4.29) містяться в таблиці, розташованій нижче.

Округлення бажано проводити до п'ятого знака, 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°–A), тобто 180° – 82°3′.0 = 97°57′.0.

№ дії	Зміст	Результат	
1	$\sin\varphi \cdot \sin\delta$	0.32140	
2	$\cos\delta \cdot \cos\varphi \cdot \cos t$	0.33170	
3	$(№1)+(№2)=\cos z$	0.65310	
4	z	49°.2243	49°13′.5
5	$\sin z$	0.75727	
6	$\sin t \cdot \cos\delta$	0.74999	
7	$(№6):(№5)=\sin A$	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	$(№9)+(№10)$	–0.10469	
12	$(№11)\div(№5)=\cos A$	–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°56′.8 (саме таке значення азимуту отримано через тангенс).

5 ДОБОВЕ ОБЕРТАННЯ НЕБЕСНОЇ СФЕРИ

5.1 Кульмінація світил

Видимий добовий рух небесних світил здійснюється по їх добових паралелях і пояснюється обертанням Землі навколо своєї осі.

Протягом доби небесне світило підіймається на сході (рухаючись по добовій паралелі), досягає найвищого свого положення на небесному склепінні в момент перетину місцевого небесного меридіана й опускається до заходу.

У добовому обертанні небесної сфери кожне світило двічі перетинає небесний меридіан (меридіан спостерігача): один раз південну його половину $PZSP'$, тоді $t = 0^0 = 0^h$, другий (через півдоби) – північну половину небесного меридіана $PNZ'P'$, тоді $t = 180^0 = 12^h$.

Явище проходження світила через небесний меридіан називається *кульмінацією.* Момент проходження через *південну половину* небесного меридіана – *верхня кульмінація*. В цей момент висота світила в його добовій паралелі найбільша (z – зенітна відстань найменша). Момент проходження світила через *північну половину* небесного меридіана є його *нижньою кульмінацією*. В цей час висота світила в його добовій паралелі найменша (z – зенітна відстань найбільша).

Для цього явища часто використовується рівнозначні терміни: "світило в меридіані", "світило кульмінує", "світило в верхній кульмінації", "світило в нижній кульмінації".

У добовому русі Сонця момент верхньої кульмінації його центра називається *істинним полуднем*, а момент нижньої кульмінації – *істинною північчю.*

На астрономічних обсерваторіях явище проходження світилом місцевого небесного меридіана фіксується за допомогою пасажного інструмента, зорова труба якого орієнтована в площині небесного меридіана місця спостереження.

Момент кульмінації зірок використовується для розв'язання низки важливих задач практичної астрономії (розрахунок висоти Сонця в різні пори року, умови сходу та заходу світил, тощо). Так відомо, що у верхній кульмінації годинний кут світила t = 0 (або cos t = 1). Розглянута раніше формула косинусів (4.3) тоді набуває вигляду

$$\sin h = \cos z = \sin\varphi \cdot \sin\delta + \cos\varphi \cdot \cos\delta, \tag{5.1}$$

$$\cos z = \cos\left[\pm\left(\varphi - \delta\right)\right], \tag{5.2}$$

$$z_B = \pm(\varphi - \delta), \qquad h_B = 90^0 - z_B, \tag{5.3}$$

$$h_B = 90^0 \pm (\varphi - \delta). \tag{5.4}$$

Формула п’яти елементів (4.10) в такому разі буде мати вигляд:

$$\sin z \cdot \cos A = -\cos\varphi \cdot \sin\delta + \sin\varphi \cdot \cos\delta, \tag{5.5}$$

тобто

$$\sin z \cdot \cos A = \sin(\varphi - \delta). \tag{5.6}$$

Оскільки під час кульмінації азимут A може бути 0° або 180°, то $\cos A$= 1 або $\cos A$= -1. Це залежить від співвідношення між схиленням світила δ і широтою φ місця спостереження, яке визначає знак $\sin(\varphi - \delta)$. Якщо $\sin z$ завжди додатна величина (тому що z змінюється в межах 0 - 180º), то знак правої частини рівняння (5.6) буде визначати лише знак $\cos A$.

Розглянемо декілька моментів: схилення δ світила менше ніж широта φ місця спостереження $\delta < \varphi$, схилення δ світила більше ніж широта φ місця спостереження $\delta > \varphi$ або схилення дорівнює широті місця спостереження $\delta = \varphi$ (рис. 5.1 і 5.2).

1. За умови $\delta < \varphi$ згідно з формулою (5.3) зенітна відстань світила $z_B = \varphi - \delta$, а $h_B = 90^0 - z_B$.Тоді висота світила у верхній кульмінації

$$h_B = 90^0 - (\varphi - \delta) = 90^0 - \varphi + \delta, \tag{5.7}$$

$$h_B = \delta + (90^0 - \varphi). \tag{5.8}$$

А згідно формули (5.6) $\cos A > 0$, інакше $\cos A = +1$, а A = 0º. У цьому випадку *світило кульмінує зі зміщенням від зеніту до півдня*.

2. За умови $\delta > \varphi$ $\sin(\varphi - \delta) = -\sin(\varphi - \delta)$, тому що синус – функція непарна і $\sin(-x) = -\sin x$. У такому разі $\sin(\varphi - \delta) < 0$, $\cos A \le 0$, $\cos A = -1$, а $A = 180°$ і *світило кульмінує на північ від зеніту*. Зенітна відстань світила згідно з формулою (5.3) дорівнює $z_B = \delta - \varphi$, а висота світила у верхній кульмінації розраховується за формулою:

$$h_B = (90^\circ - \delta) + \varphi. \tag{5.9}$$

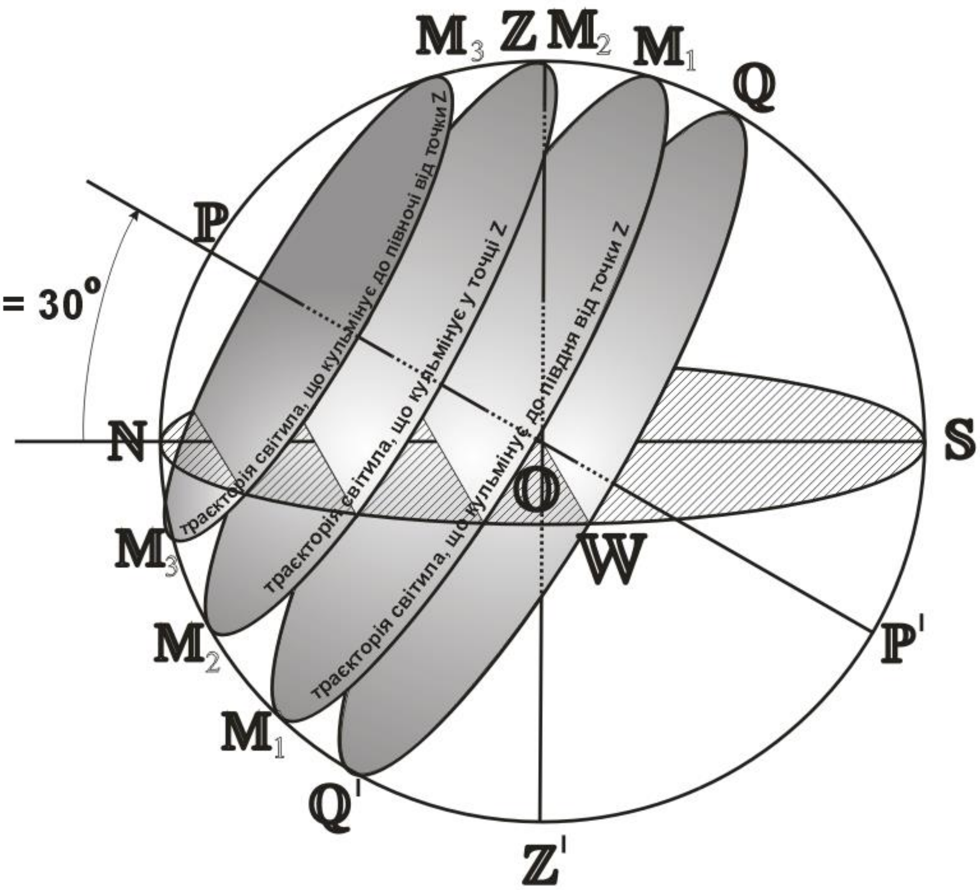


Рисунок 5.1 – Добові траєкторії світил, які кульмінують в різних точках по відношенню до Z

3. Нарешті, якщо $\delta = \varphi$, то

$$z_B = \varphi - \delta = 0, \text{ а } h_B = 90^\circ. \tag{5.10}$$

Таким чином, в будь–якому місці земної кулі в момент верхньої кульмінації знаходяться в зеніті z тільки ті світила, схилення δ яких дорівнює географічній широті φ. З наведеного вище випливає, що схилення зеніту дорівнює широті місця спостереження ($\delta_z = \varphi$), і через зеніт проходять добові паралелі світил, схилення яких дорівнює φ.

Запишемо умову проходження світила через Z

$$\delta = \varphi. \tag{5.11}$$

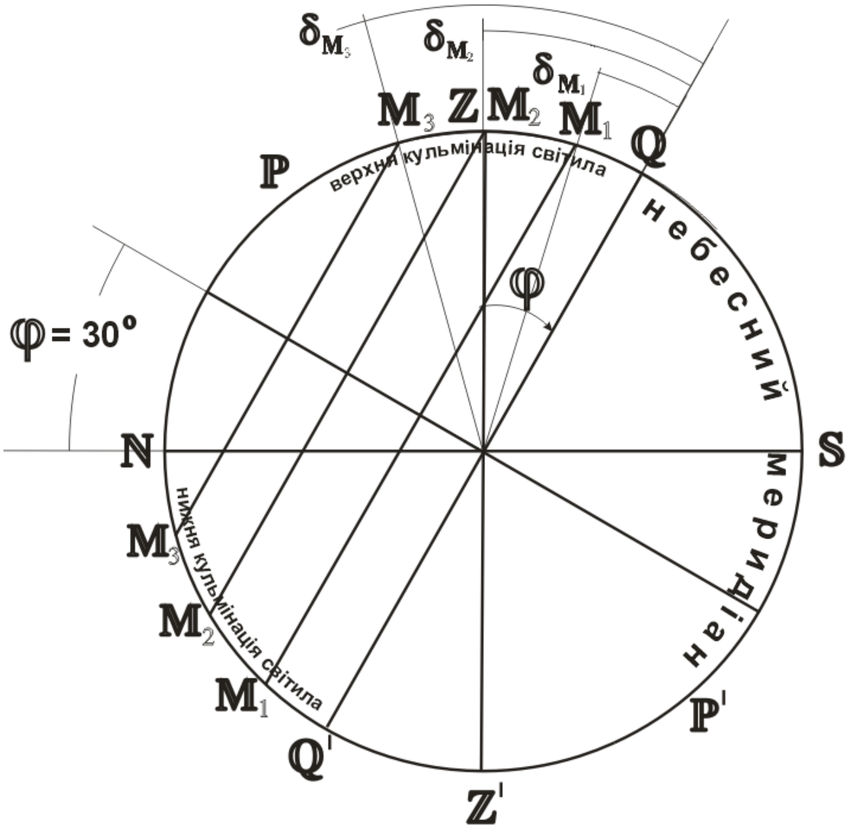


Рисунок 5.2 – Добові траєкторії світил в проекції на площину небесного меридіана

У момент нижньої кульмінації, тобто в момент знаходження світила в північній частиній небесного меридіана його годинний кут дорівнює $t = 180° = 12^h$, а $\cos t = -1$. Тоді з формули (5.1)

$$cos\, z = \sin\varphi \sin\delta - \cos\varphi\cos\delta = -\left(\cos\varphi\cos\delta - \sin\varphi\sin\delta\right) =$$
$$= - \cos\left(\varphi + \delta\right). \qquad (5.11)$$

Інакше

$$\cos z = \cos\left[180° - \left(\varphi + \delta\right)\right], \qquad (5.12)$$

а зенітна відстань в момент нижньої кульмінації становить

$$z_H = 180° - \varphi - \delta. \qquad (5.13)$$

Тоді висота світила в нижній кульмінації дорівнює

$$h_H = \delta - \left(90° - \varphi\right). \qquad (5.14)$$

Приклад 1. Визначити яку висоту має світило зі схиленням $\delta = 20°$ у верхній і нижній кульмінації на широті $\varphi = 50°$?

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

$$h_B = \delta + (90° - \varphi);$$

$$h_B = 20° + (90° - 50°) = 60°;$$

$$h_H = \delta - (90° - \varphi);$$

$$h_H = 20° - (90° - 50°) = -20°.$$

Світило кульмінує на південь від зеніту (рис. 5.3).

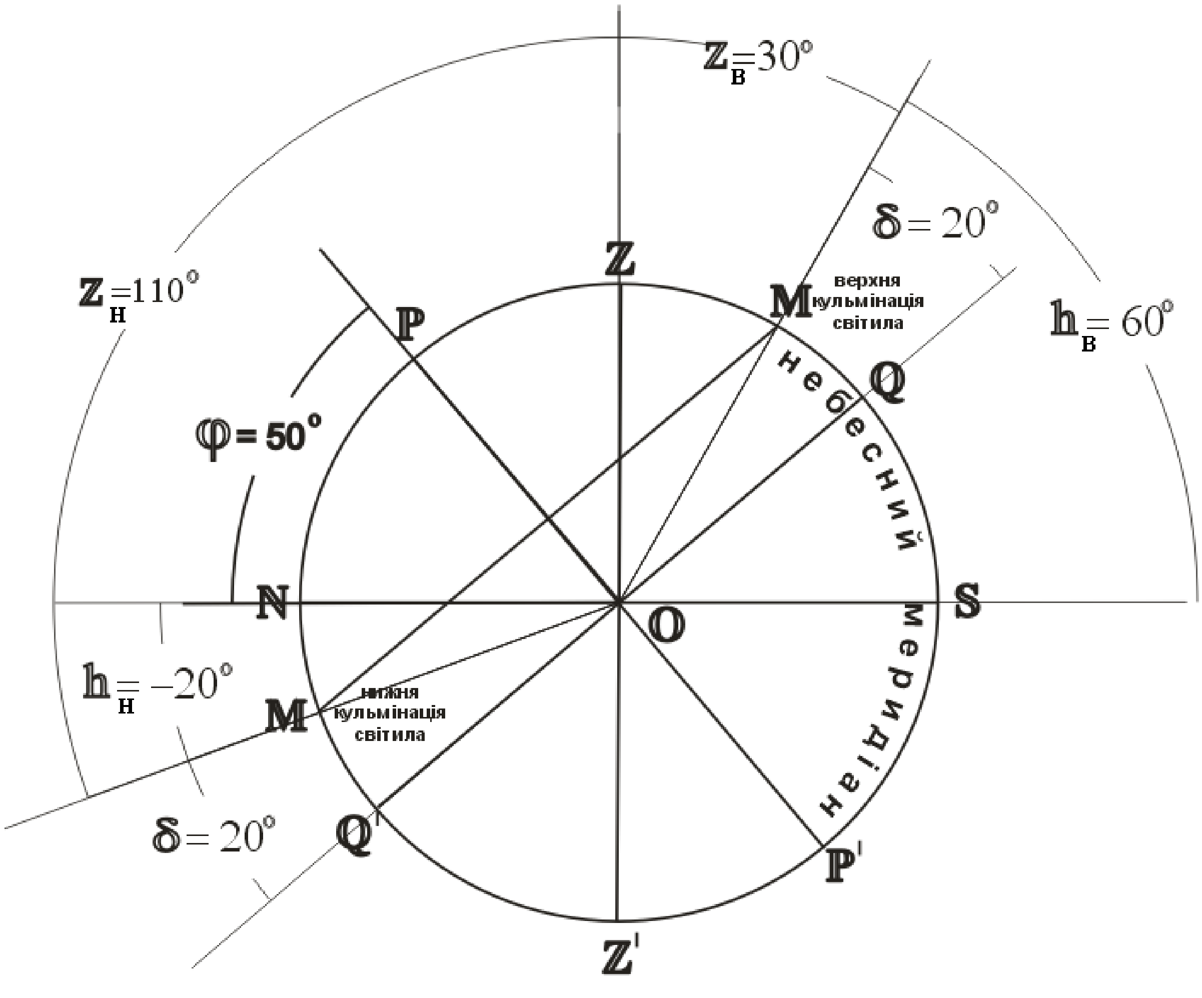


Рисунок 5.3 – Ілюстрація до прикладу 1.

Приклад 2. Визначити, яку висоту має світило зі схиленням $\delta = 45°$ у верхній і нижній кульмінації на широті $\varphi = 20°$?

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

$$h_B = \varphi + (90° - \delta);$$

$$h_B = 20° + (90° - 45°) = 65°;$$

$$h_H = \delta - (90° - \varphi);$$

$$h_H = 45° - (90° - 20°) = -25°.$$

Світило кульмінує на північ від зеніту.

Приклад 3. Визначити, яку висоту має світило зі схиленням $\delta = 20°$ у верхній і нижній кульмінації на широті $\varphi = 20°$?

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

$$h_B = 20° + (90° - 20°) = 90°;$$
$$h_H = 20° - (90° - 20°) = -50°.$$

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

5.2 Умови перебування світила над горизонтом. Умови сходу та заходу світил

Раніше розглянуті формули розрахунку висоти світила в нижній та верхній кульмінації дозволяють з'ясувати умови його перебування над горизонтом, тобто заходить чи не заходить воно у певній місцевості.

Так, за допомогою рівняння (5.14) висоти світила у нижній кульмінації можна визначити східне і західне чи незахідне світило. Для цього слід запам'ятати, що світило вже є незахідним, коли в момент нижньої кульмінації воно торкається горизонту в точці N і далі піднімається над горизонтом, рухаючись по своїй добовій паралелі. Тоді в момент нижньої кульмінації його висота дорівнює 0 і рівняння (5.14) можна записати так

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

а звідси $\delta = (90° - \varphi)$. Тоді світило, схилення δ якого дорівнює $(90° - \varphi)$ визначає межу області незахідних світил на широті φ. Всі інші світила, схилення яких більше $(90° - \varphi)$ у момент нижньої кульмінації будуть знаходитись над горизонтом і їхня висота в цей момент $h_H > 0$. Тобто протягом доби ці світила не заходять за горизонт (рис. 5.4**)**.

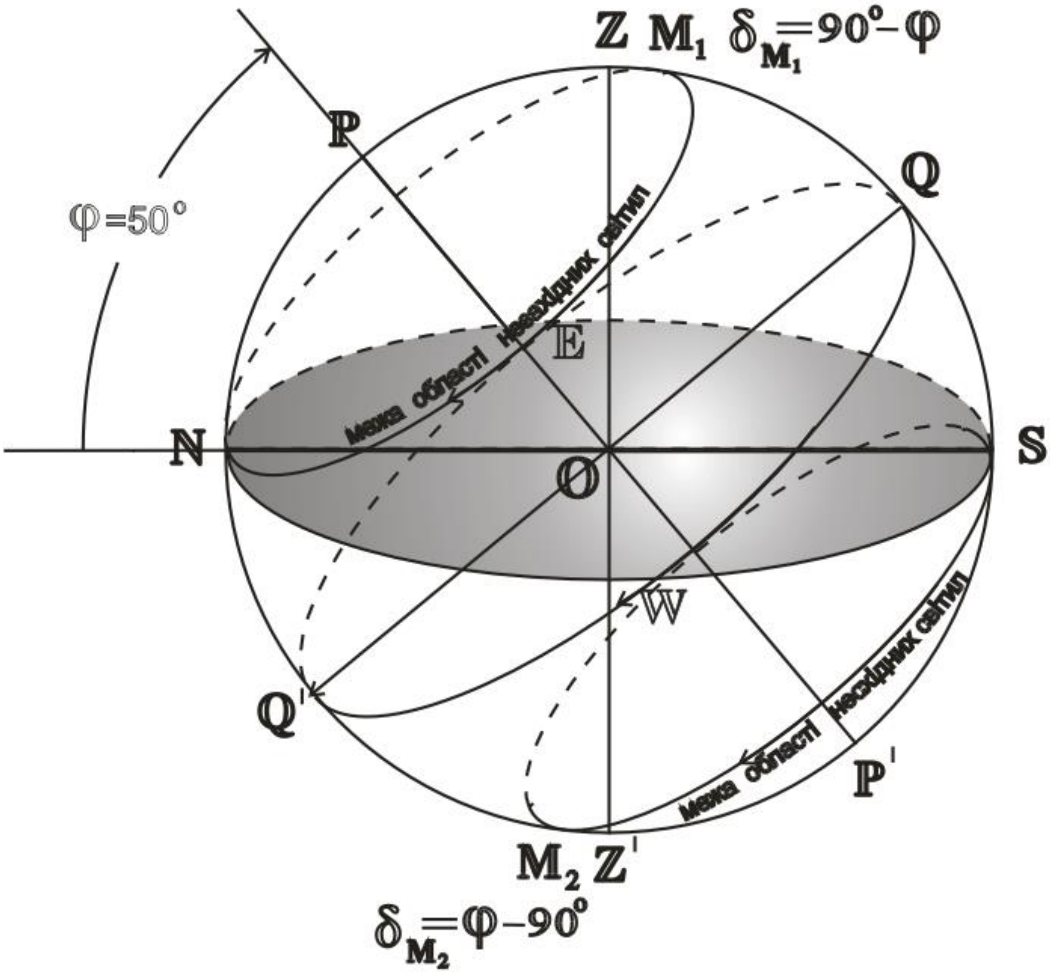


Рисунок 5.4 – Області несхідних та незахідних світил

Таким чином, *незахідними* будуть світила, які відповідають наступній умові

$$\delta \geq \left(90° - \varphi\right) . \qquad (5.15)$$

Якщо світило заходить, то в момент нижньої кульмінації його висота від’ємна, бо воно буде знаходитися під горизонтом даної місцевості. Це можливо тоді, коли $\delta < (90 - \varphi)$ і $h_H < 0$.

В проекції на небесний меридіан траєкторії добового руху несхідних і незахідних світил для широти 50º півн. ш. подано на рис. 5.5.

Приклад 4. Визначити незахідні і несхідні світила на різних широтах

1) $\varphi = 40°$

всі світила зі схиленням $\delta \geq 50^{\circ}$ – будуть *незахідними*,

всі світила зі схиленням $\delta < -50^{\circ}$ – будуть *несхідими*;

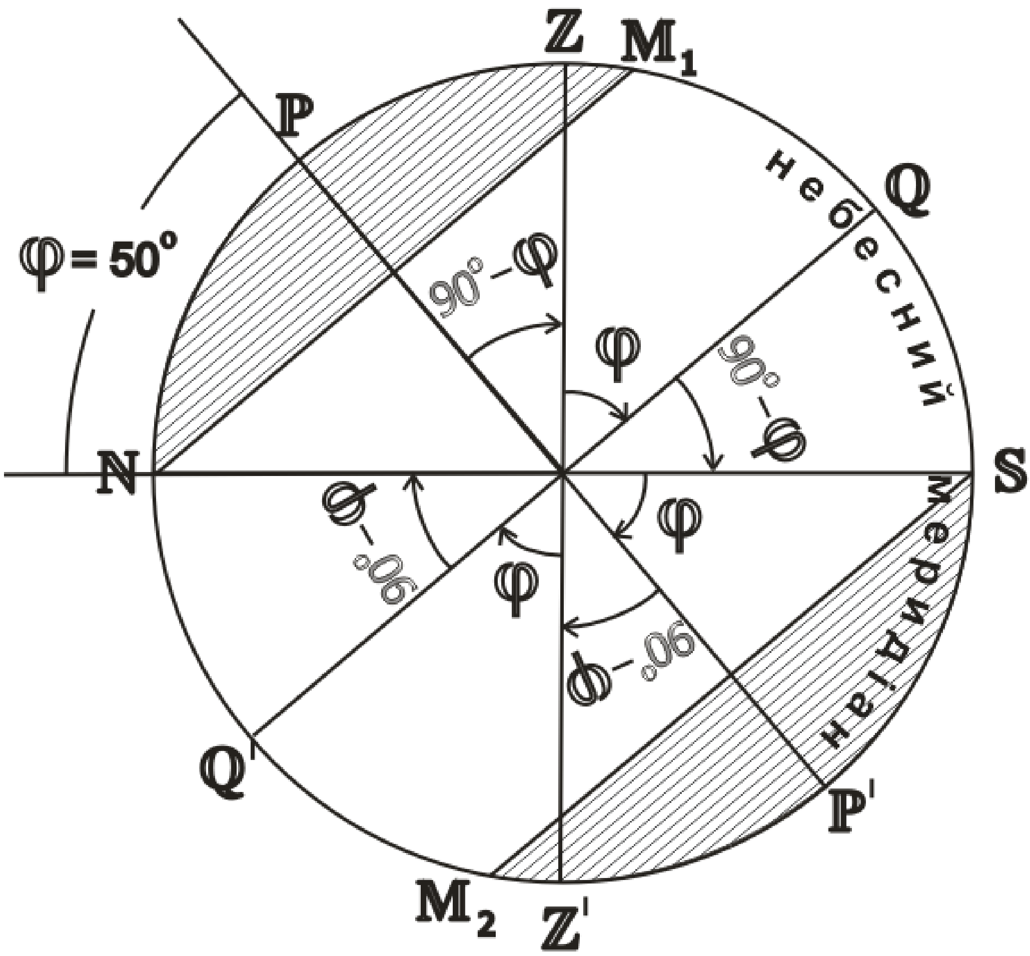


Рисунок 5.5 – Добові паралелі несхідних та незахідних світил в проекції на небесний меридіан для $\varphi = 50^{0}$

2) $\varphi = 90°$:

всі світила, схилення яких $\delta \geq 0$ – будуть *незахідними*, тобто на північному полюсі не заходять всі світила північної півкулі;

3) $\varphi = 0°$:

Згідно з теорією несхідними і незахідними тут можуть бути світила, схилення яких $\delta \geq +90°$ і $\delta \leq -90°$. Але таких світил на небесній сфері (окрім північного і південного полюсів світу) немає. Через це спостерігач, який знаходиться на географічному екваторі, має можливість бачити всі світила небесної сфери, тому що тут вони і сходять, і заходять.

Через симетрію небесної сфери світила зі схиленням $\delta \le -\left(90^0 - \varphi\right)$ – взагалі не сходять, бо навіть в момент верхньої кульмінації їх висота не більше 0º. Це доводить формула висоти світила в момент верхньої кульмінації $h_B = \delta + \left(90° - \varphi\right)$: якщо світило не сходить, тобто навіть в момент верхньої кульмінації його добова паралель не перетинає горизонт, то його висота від'ємна. Перше несхідне світило буде таким, схилення якого $\delta = -\left(90° - \varphi\right)$, а його висота $h_B = 0$.

У підсумку можна записати *умови сходу* та *заходу світил*. Вони визначаються нерівністю:

$$-\left(90° - \varphi\right) < \delta < \left(90° - \varphi\right). \qquad (5.16)$$

З'ясуємо, в якій точці горизонту сходить і заходить світило, яка тривалість його перебування над і під горизонтом від чого це залежить.

Положення точок сходу і заходу на горизонті залежить лише від схилення світила δ. Наприклад, якщо $\delta = 0°$, то світило розташовується в площині небесного екватора і небесний екватор є траєкторією його добового руху, тобто добовою паралеллю. Таке світило сходить у точці E сходу, а заходить у точці W заходу (рис. 5.4). Тривалість перебування його над і під горизонтом однакова.

Якщо схилення $\delta > 0$ (світило належить до північної небесної півсфери), то його добова паралель, площина якої паралельна небесному екватору, буде проходити зі зсуненням у північну півкулю, тому точки перетину її з істинним горизонтом, тобто точки сходу та заходу світила зміщені від точки E і точки W у бік точки N півночі. Світило більшу частину доби знаходиться над горизонтом, а меншу – під горизонтом.

У світил південної половини небесної сфери $\left(\delta < 0\right)$ точки сходу та заходу від точок W і E зміщені в сторону точки півдня S і світило меншу частину доби перебуває над горизонтом, а більшу – під ним.

Зміщення точок сходу і заходу до півдня або до півночі тим більше, чим більше схилення світила.

5.3 Вид зоряного неба на різних широтах

Через кулеподібність Землі вид зоряного неба в місцевостях з різною географічною широтою φ неоднаковий і визначається, як вже пояснювалось, теоремою про висоту полюса світу над горизонтом:

$$h_P = \varphi\,.$$

Для спостерігача на широті φ=90° (географічний полюс) вісь світу перпендикулярна до істинного горизонту і збігається з лінією виска, тобто полюс світу збігається з зенітом Z, а небесний екватор QQ' – з істинним горизонтом (рис. 5.6).

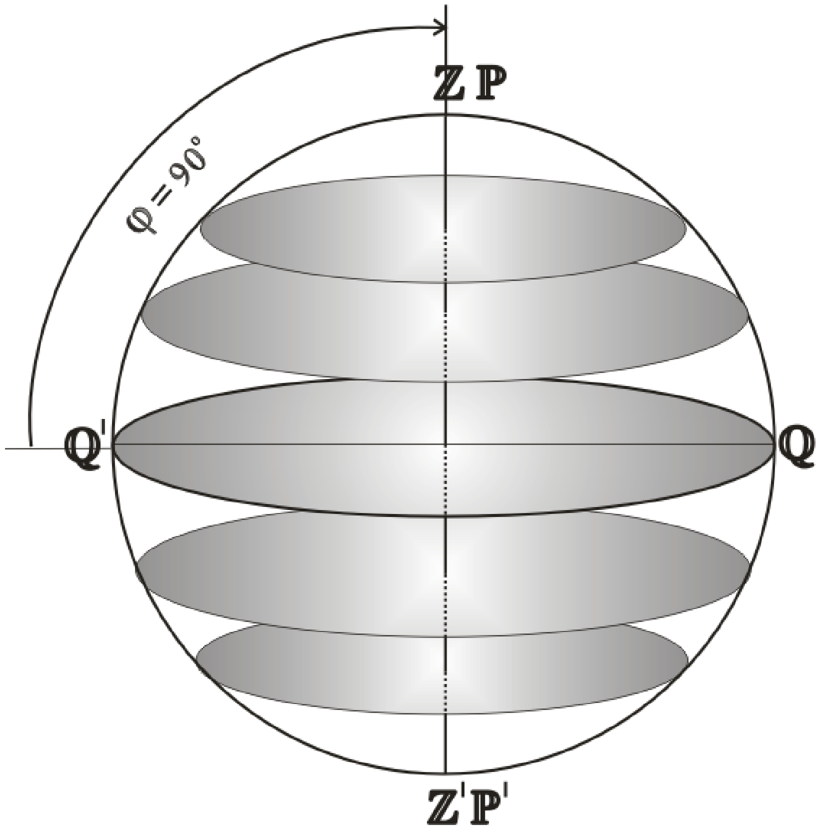


Рисунок 5.6 – Добовий рух світил на полюсі ($\varphi = 90°$ півн. ш.)

Всі зірки (світила) описують добові кола, паралельні небесному екватору (в даному разі істинному горизонту). Жодна з них не заходить (зірки північної півкулі) і не сходить (зірки південної півкулі), не змінюючи своєї висоти відносно горизонту, яка дорівнює його схиленню δ.

Таким чином, на північному географічному полюсі спостерігаються всі зірки північної небесної півкулі і не видимі всі зірки південної півкулі. На південному географічному полюсі, навпаки, не видно зірок північної півкулі.

Для спостерігача на земному екваторі $\left(\varphi = 0°\right)$ вісь світу PP' нахилена до площини горизонту під кутом 0º, тобто знаходиться в її площині (рис. 5.7**).**

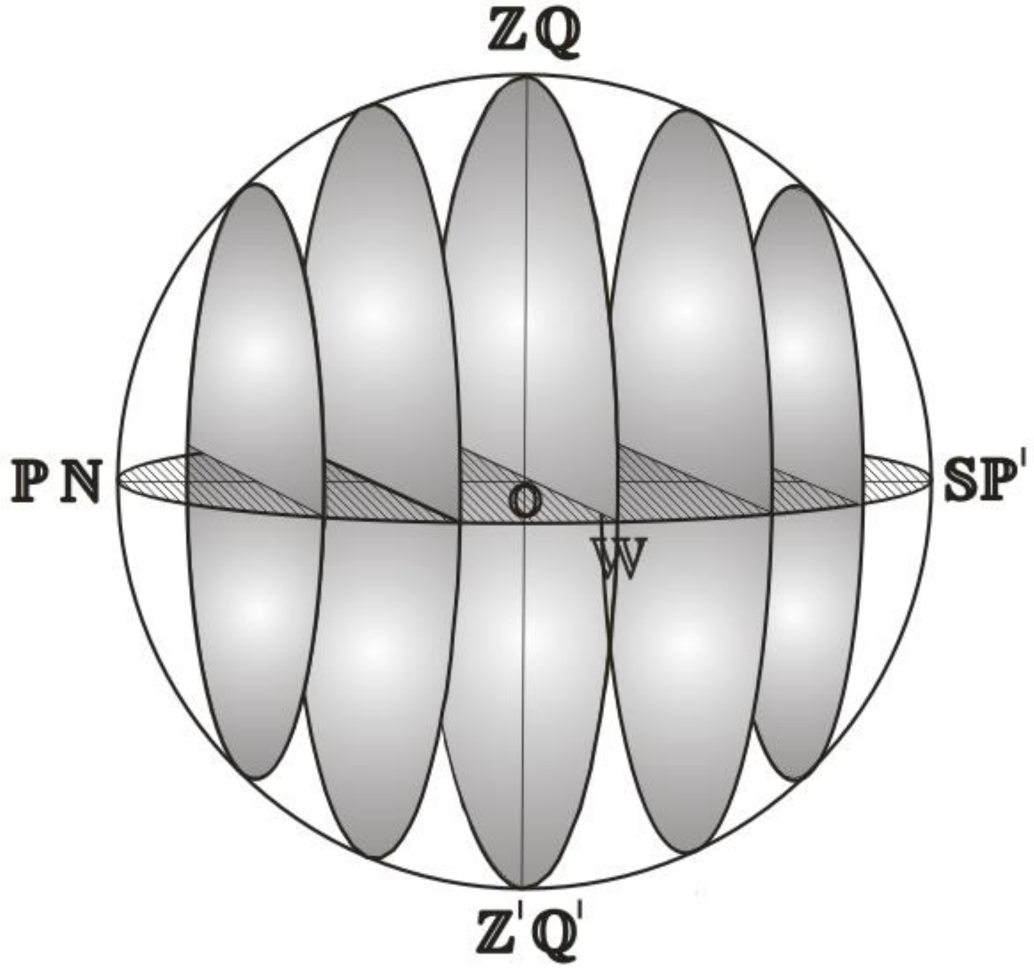


Рисунок 5.7 – Добовий рух світил на екваторі ($\varphi = 0°$)

Тепер лінія виска ZZ' розташована в площині небесного екватора QQ'. Добові паралелі всіх світил перпендикулярні до площини істинного горизонту. Через це зірки сходять і заходять тут перпендикулярно до горизонту і всі небесні світила 12 годин знаходяться над горизонтом, а 12 годин – під горизонтом.

На географічному екваторі спостерігаються всі зірки обох півкуль, бо всі вони тут східні і західні.

Для спостерігача на довільній широті $\left(0° < \varphi < 90°\right)$ вісь світу нахилена до горизонту під кутом φ (рис. 5.8).

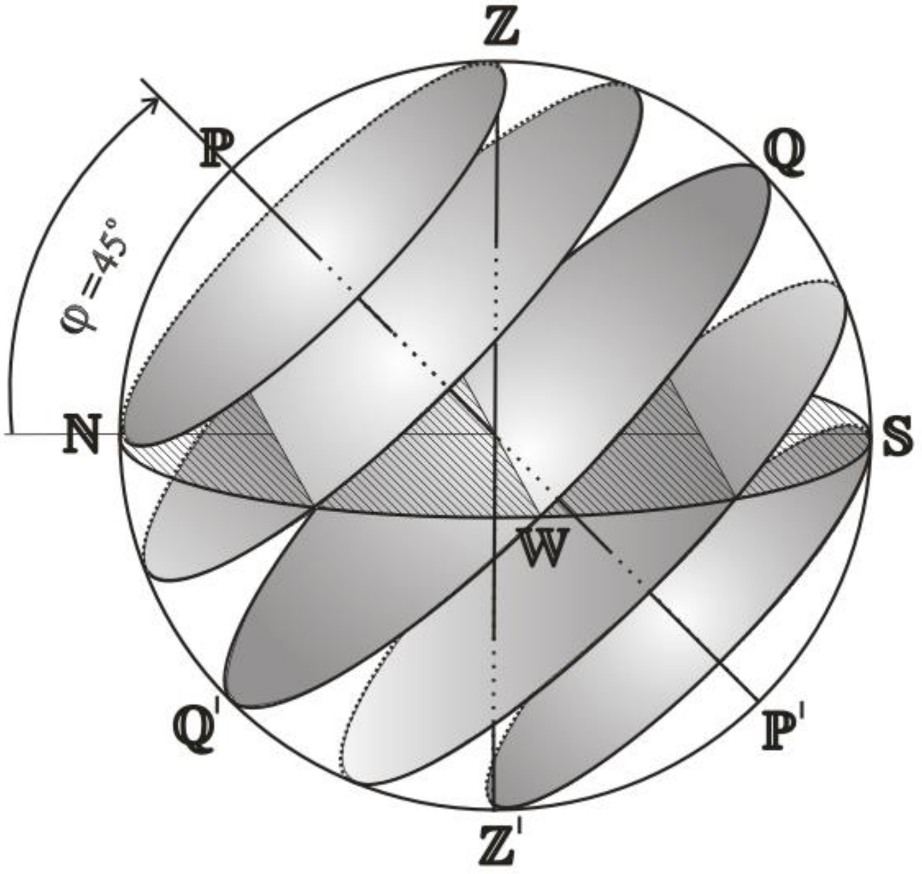


Рисунок 5.8 – Добовий рух світил в середніх широтах північної півкулі

Небесний екватор і добові паралелі всіх світил нахилені до площини істинного горизонту під кутом $(90° - \varphi)$.

Як вже зазначалось, для спостерігача в північній півкулі Землі всі світила небесної сфери, які знаходяться усередині області, обмеженої добовою паралеллю, що торкається горизонту в точці півночі N**,** будуть незахідними, а зірки усередині області, обмеженої добовою паралеллю, що торкається горизонту в точці півдня S – несхідними (рис. 5.5 – 5.8).

5.4 Астрономічна рефракція

Зазначимо, що через наявність земної атмосфери висота над горизонтом всіх світил, які бачить спостерігач, більша, ніж вона є насправді завдяки явищу атмосферної рефракції.

Атмосферна або астрономічна рефракція (від лат. refractio – заломлюю) – явище відхилення світлового променя від прямолінійного напрямку при його проходженні через атмосферу Землі. Це явище відкрито ще Птолемеєм. Його суть полягає в тому, що світловий промінь відхиляється в бік зеніту, цим самим змінюючи положення світила (рис. 5.9).

Дійсно, видима зенітна відстань z світила трохи менша його істинної зенітної відстані z', а висота h трохи більша за істинну висоту h', тобто, як прийнято говорити в астрономії, рефракція *підвищує* світило над горизонтом. Різниця

$$z' - z = h - h' = \rho , \tag{5.17}$$

називається величиною рефракції, а частіше *рефракцією*.

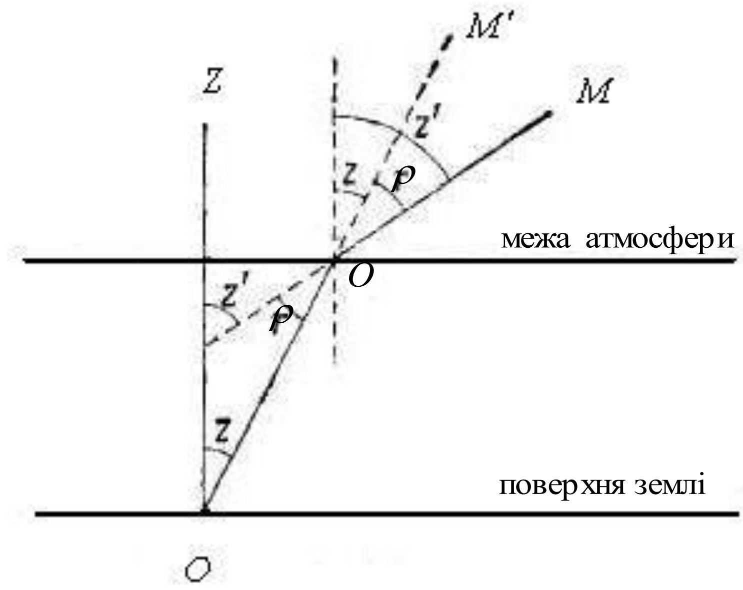


Рисунок 5.9 – Астрономічна рефракція

Теорія рефракції складна, бо Земля – куля і густина атмосфери змінюється з висотою. При виведені рівнянні рефракції враховується залежність рефракції від зенітної відстані світила і співвідношення між коефіцієнтами заломленні різних шарів атмосфери, враховується також сферичність шарів атмосфери. Через це формули для визначення рефракції також складні.

Розглянемо найпростішу модель, яка враховує заломлення в атмосфері Землі (в першому наближенні).

Припустимо, що атмосфера плоска і однорідна, тобто має один і той же коефіцієнт заломлення .

Закони заломлення світла відомі з курсу фізики. Світло, переходячи з менш щільного оптичного середовища в більш щільне, заломлюється і кут падіння z' більший за кут заломлення z. За рахунок цього ефекту спостерігач бачить світило не в напрямку *OM,* а в напрямку *OM'*. Таким чином, кут падіння z' є позаатмосферною зенітною відстанню, а z – кут заломлення – зенітна відстань світила, яку ми спостерігаємо.

Якщо n_0 – коефіцієнт заломлення зовнішнього середовища і для вакууму дорівнює 1, а n – коефіцієнт заломлення атмосфери і для повітря дорівнює 1,000282, тоді

$$\frac{\sin z'}{\sin z} = \frac{n}{n_0}. \tag{5.18}$$

Відношення синусів кутів падіння і заломлення зворотньо–пропорційно коефіцієнтам заломлення.

Визначимо поправку для z' або знайдемо кут рефракції ρ.

Якщо

$$z' = z + \rho, \tag{5.19}$$

тоді

$$\frac{\sin z'}{\sin z} = \frac{\sin(z+\rho)}{\sin z} = \frac{\sin z \cos\rho + \cos z \sin\rho}{\sin z}, \tag{5.20}$$

При $\rho \to 0$ $\cos\rho \approx 1$, а $\sin\rho \approx \rho$, тоді

$$\frac{\sin(z+\rho)}{\sin z} \approx 1 + \operatorname{ctg} z \cdot \rho = \frac{n}{n_0} = \frac{1{,}000282}{1}, \tag{5.21}$$

$$1 + \operatorname{ctg} z \cdot \rho = 1{,}000282, \tag{5.22}$$

$$\operatorname{ctg} z \cdot \rho = 0{,}000282, \tag{5.23}$$

$$\rho = 0{,}000282 \cdot \operatorname{tg} z, \tag{5.24}$$

Наведені математичні викладки стосуються кутів, виміряних у радіанній мірі. Але в астрономії до цього часу кути вимірюються в градусах, хвилинах і секундах, а не в радіанах. Відомо, що 1 радіан = 57º17´45´´= 206265″, тоді

$$\rho = 0{,}000282 \cdot 206265'' \cdot \operatorname{tg} z = 58'',2 \cdot \operatorname{tg} z\,, \qquad (5.25)$$

Величина рефракції може змінюватись в залежності від фізичного стану атмосфери. Формула (5.25) є формулою рефракції, яка отримана за наступних атмосферних умов: $t = +10°C$, $P = 760$ **мм рт.ст.** і називається середньою або істинною рефракцією. Наведена формула рефракції справедлива, доки зенітна відстань світила $z < 70°$. При $z > 70°$ ця формула непридатна, бо дає велику похибку. Так, при $z = 90°$ за даною формулою $\rho = \infty$, але в дійсності кут рефракції біля горизонту становить $35.5'$, тобто майже $0{,}5°$. Проте, в полярних районах за несприятливих атмосферних умов величина рефракції може сягати 2°.

На базі спостережень складено спеціальні таблиці рефракції для різних зенітних відстаней за різних атмосферних умов. Цими таблицями користуються для внесення виправлень в астрономічні спостереження положень світил на небесній сфері.

Рефракція діє лише в вертикальному напрямку, не впливаючи на азимут світил. Вона обов'язково враховується при визначені екваторіальних координат світил, при обчисленні моментів їх сходу та заходу, при уточнені тривалості присмерків. Через це диск Сонця і Місяця поблизу горизонту має овальну форму (в нижньому краї диска рефракція приблизно на $6'$ більша, ніж у верхньому краї і вертикальний діаметр диска здається скороченим в порівнянні з горизонтальним діаметром, який рефракція не змінює).

З проходженням променів через атмосферу Землі пов'язане також явище *мерехтіння зірок*, найпомітніше біля горизонту. Зумовлене воно заломленням променів у рухомих неоднорідностях густини атмосфери. Завдяки накладанню та інтерференції променів з різним заломленням спостерігач відмічає то посилення, то послаблення світлового потоку, причому в різних кольорах, так що змінюється не лише яскравість зорі, а й її колір.

Ще один ефект, пов'язаний з наявністю атмосфери Землі – це *присмерки* – поступове послаблення денного світла після заходу Сонця або, навпаки, його посилення перед сходом Сонця. Відповідно є вечірні і ранкові присмерки. Під час присмерків певний рівень освітленості зумовлений сонячними променями, розсіяними атмосферою Землі.

Прийнято говорити про громадянські й астрономічні присмерки. *Вечірні громадянські присмерки* розпочинаються в момент заходу Сонця і тривають доти, доки висота центра диска Сонця не досягне значення $-6°$ (тобто доки цей диск не опиниться на глибині $-6°$ під горизонтом). Якщо центр Сонця заходить під горизонт опівночі менше ніж на 6°, то громадянські присмерки тривають всю ніч – це так звані *білі ночі*. Через те, що найбільше схилення Сонця сягає 23,5º (22 червня), білі ночі спостерігаються лише в широтах, вищих за 60,5º.

Астрономічні присмерки закінчуються (уранці розпочинаються) у момент, коли висота центра сонячного диска -18°.

Власне ніч, коли на небі видно найслабкіші зорі, триває від кінця вечірніх і до початку ранкових астрономічних присмерків.

Коли закінчуються вечірні громадянські присмерки, то доводиться вдаватися до штучного освітлення; на небі можна побачити лише найбільш яскраві зірки. Наприкінці вечірніх астрономічних присмерків зникають останні сліди вечірньої зорі, настає ніч, а на небі видимими є вже й слабкі зірки.

Розрахунок тривалості присмерків розглядається у розділі «Час і його вимірювання».

5.5 Знаходження часу сходу та заходу Сонця і тривалості дня

Для розв'язання деяких практичних задач необхідні відомості про час сходу і заходу Сонця, положення цих точок на горизонті (азимут) та тривалість дня.

Зазначимо, що по відношенню до явищ сходу і заходу Сонця слід розрізняти поняття істинний і видимий схід і захід. *Істинним* сходом або заходом називають момент проходження центра диску Сонця через площину істинного горизонту, а *видимий* схід або захід – це момент появи або зникнення верхнього краю Сонця над лінією горизонту.

Через рефракцію існують відмінності між часом істинного та видимого сходу (заходу) Сонця і має місце подовження тривалості дня. У ці моменти через рефракцію верхній край Сонця здається вищим над горизонтом на 35′, тобто в момент видимого сходу (заходу) Сонця його верхній край знаходиться нижче горизонту на 35′, а його центр – на 35′ + 16′ = 51′ (16′ – видимий радіус сонячного диску). Таким чином, у моменти сходу та заходу висота Сонця дорівнює -51′. Це враховується при визначенні істинного сонячного часу видимого сходу і заходу Сонця. Час від моменту видимого сходу до моменту видимого заходу Сонця називають *днем*.

Для визначення істинного сонячного часу видимого сходу і заходу Сонця можна використати формулу косинусів

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

в якій враховуються екваторіальні та географічні координати.

Розв'язання має сенс тільки за умови

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

оскільки в інших випадках світило буде незахідним або несхідним.

Годинний кут t світила для будь-якого моменту часу обчислюється за формулою

$$\cos t=\frac{\sin h_\Theta-\sin\varphi\cdot\sin\delta}{\cos\varphi\cdot\cos\delta}, \qquad (7.25)$$

а для моменту <u>видимого</u> сходу або заходу Сонця (h_Θ = -51′) формула набуває вигляду

$$\cos t_\odot=\frac{-\sin 51'-\sin\varphi\cdot\sin\delta_\odot}{\cos\varphi\cdot\cos\delta_\odot}=-\frac{\sin 51'+\sin\varphi\cdot\sin\delta}{\cos\varphi\cdot\cos\delta}. \qquad (7.31)$$

Для <u>істинного</u> сходу (заходу), коли висота світила h_Θ = 0, формула **(7.25**) приймає вигляд:

$$\cos t=-\frac{\sin\varphi\cdot\sin\delta}{\cos\varphi\cdot\cos\delta}=-\mathrm{tg}\,\varphi\cdot\mathrm{tg}\,\delta. \qquad (7.26)$$

Кожне з наведених рівнянь має два значення годинного кута: $t_1=t$ та $t_2=-t$. Додатне значення відповідає заходу світила, від'ємне – сходу світила. Годинний кут визначають в кутових одиницях і переводять в одиниці часу.

Азимут A точок сходу та заходу визначається за формулою ***(4.7):***

$$\sin A=\sin t\frac{\cos\delta}{\cos h}. \qquad)$$

З формули косинусів (**4.11)** для h = 0° значення $\cos A$ можна визначити за наступною формулою

$$\cos A=-\frac{\sin\delta}{\cos\varphi}=-\sec\varphi\cdot\sin\delta. \qquad (7.30)$$

Запитання для самоперевірки

1. Як називаються малі кола сфери, по яких відбувається добовий рух світил?
2. В якому колі небесної сфери знаходиться світило в момент верхньої (нижньої) кульмінації?
3. Що таке верхня кульмінація світила?
4. Від чого залежить час перебування світила над горизонтом і під горизонтом?
5. За якої умови час перебування світила над горизонтом і під горизонтом буде однаковим?
6. Чим визначається положення на горизонті точок сходу і заходу світила?
7. Коли протягом доби зенітна відстань світила дорівнює нулю?
8. Між якими точками горизонту сходять і заходять світила, якщо їх тривалість перебування над горизонтом менше 12 годин?
9. Між якими точками горизонту сходять і заходять світила, якщо їх тривалість перебування над горизонтом більше 12 годин?
10. В якій точці небесної сфери знаходиться перше незахідне світило?

5.6 Практична частина

Розв'язати задачі.

1. Визначити, які світила не сходять і не заходять на φ = 30º і φ = 50º. Зобразити області несхідних та незахідних світил на відповідних рисунках.
2. Визначити висоту світил в момент верхньої і нижньої кульмінації на широті φ =70º за умови різних значень їх схилення (δ_1=30º, δ_2 = 20º, δ_3 = 0º, δ_4 = –20º).

Приклади розв'язання задач

1. Визначити, які світила не сходять і не заходять на φ = 60º. Зобразити області несхідних та незахідних світил на рисунках.

Для розв'язання цієї задачі слід згадати умови сходу і заходу світил $-(90° - \varphi) < \delta < (90° - \varphi)$. На широті φ = 60º сходять і заходять світила, схилення яких менше 30º і більше –30º. Звідси – незахідними будуть всі світила з $\delta \geq 30°$, а несхідними – всі світила з $\delta \leq -30°$. На рисунку небесної сфери область незахідних і несхідних світил буде окреслена добовою паралеллю першого несхідного ($\delta = 30°$) світила, яке в момент нижньої кульмінації торкається горизонту в точці N і знову підіймається над горизонтом і першого незахідного ($\delta = -30°$) світила, яке в момент верхньої кульмінації торкається горизонту в точці S і знову заходить під горизонт. При виконанні завдання звернути увагу на рис. 5.1.

2. Визначити висоту світил в момент верхньої і нижньої кульмінації на широті φ = 50º, схилення яких δ_1 = 40º і δ_2 = 60º.

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 $h_{B1} = 40^0 + (90 - 50)^0 = 80^0$. У другому випадку, коли схилення світила перевищує широту, використовується формула (5.9) і тоді $h_{B2} = 40^0 + (90 - 50)^0 = 80^0$. 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°, а другого – A = 180°. Годинний кут обох світил в момент верхньої кульмінації дорівнює нулю.

У нижній кульмінації згідно з формулою (5.14) перше світило має висоту $h_{H1} = 40° - (90-50)° = 0°$. Звернемо увагу на те, що це перше незахідне світило, добова паралель якого є межею області незахідних світил. Висота в нижній кульмінації другого світила $h_{H2} = 60° - (90-40)°$. 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.

6 ВИДИМИЙ РІЧНИЙ РУХ СОНЦЯ

6.1 Річний рух Сонця

Крім видимого добового руху, в якому Сонце приймає участь разом з іншими небесними тілами, розглядають ще видимий річний рух Сонця, який є відображенням дійсного руху Землі навколо Сонця.

Спостерігаючи зоряне небо можна помітити, що в один і той же час, наприклад, після заходу Сонця, в певній місцевості земної кулі вид зоряного неба в різні пори року змінюється. Це є наслідком руху Землі навколо Сонця, завдяки чому спостерігач бачить Сонце протягом року в проекції на різних ділянках зоряного неба. Складається уявлення, що шлях Сонця пролягає на небі серед певних сузір'їв, які здавна мають назву зодіакальних (від грецького "зоон" – "тварина" і похідного від цього слова "зодіакос", тобто "тваринний"), оскільки серед назв цих сузір'їв багато назв тварин. Всього їх 12 (не враховуючи Змієносця) і, починаючи з 21 березня, вони розташовані так: *Овен*, *Телець*, *Близнята*, *Рак*, *Лев*, *Діва*, *Терези*, *Скорпіон*, *Стрілець*, *Козеріг*, *Водолій*, *Риби*.

Площина, в якій Земля рухається навколо Сонця, тобто площина земної орбіти, називається площиною екліптики. Перетин цією площиною небесної сфери є дуга великого кола – екліптика $\varepsilon\varepsilon'$. Це і є траєкторія видимого річного руху Сонця (рис. 6.1). Лінія, перпендикулярна до площини екліптики, називається вісь екліптики $ПП'$; точки перетину небесної сфери цією віссю – $П$ – північний полюс екліптики, $П'$ – південний полюс екліптики.

Вісь Землі нахилена до площини екліптики під кутом 66,5°. Це означає, що площина земного (і небесного) екватора з площиною екліптики становить кут в 23,5°.

Як вже зазначалось, кола небесного екватора і екліптики перетинаються у двох важливих точках, які були відомі ще у давнину. Це точка весняного (♈) та точка осіннього (♎) рівнодення. В них Сонце буває відповідно 21 березня, переходячи з південної півкулі в північну (це є дата початку астрономічної весни), і 23 вересня, при переході з північної півкулі в південну (це є дата початку астрономічної осені). У ці дати схилення Сонця дорівнює нулю ($\delta = 0°$), тобто воно знаходиться в площині небесного екватора. Його добова паралель співпадає з небесним екватором і у ці дні у всіх пунктах земної кулі тривалість дня практично (з врахуванням рефракції) дорівнює тривалості ночі, а точки сходу та заходу Сонця співпадають з точками сходу E і заходу W.

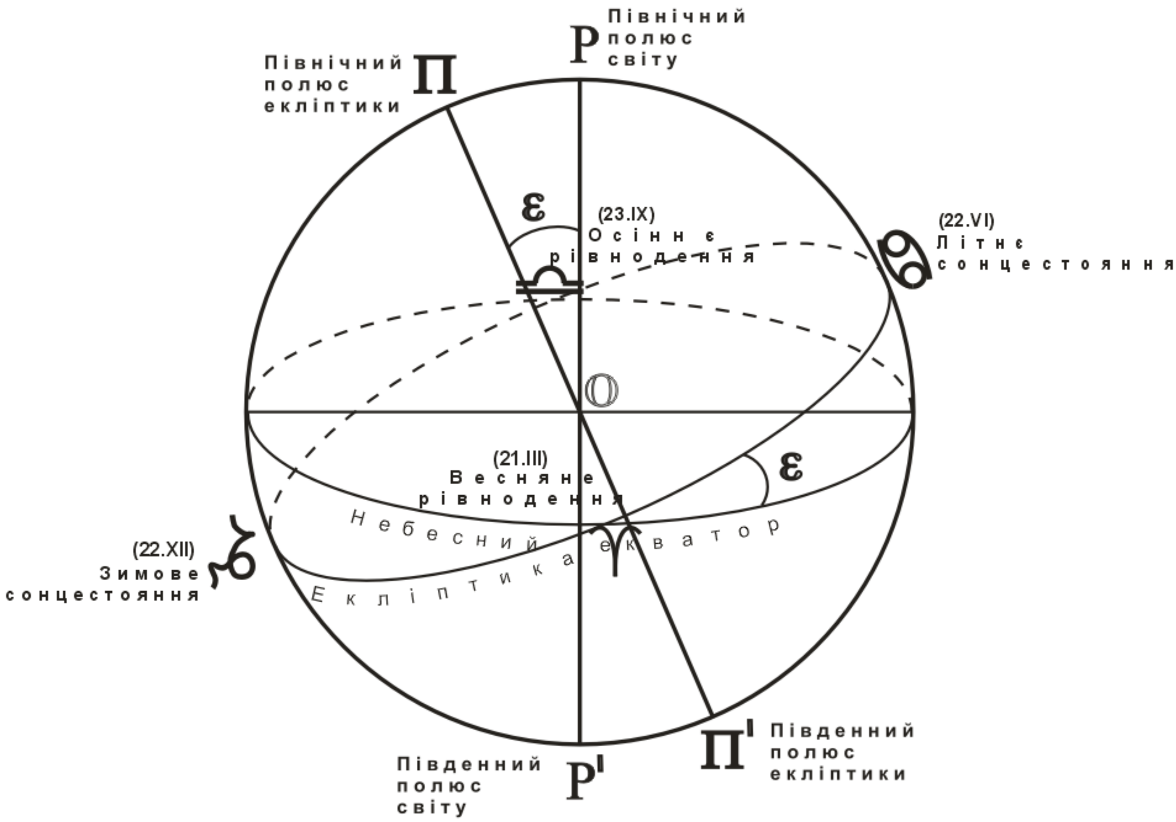


Рисунок 6.1 – Траєкторія видимого річного руху Сонця навколо Землі

Екліптика перетинає і коло небесного меридіана у двох точках ε і ε'. Це точки літнього сонцестояння, в якій Сонце буває 22 червня і зимового сонцестояння 22 грудня. Позначення ці точки дістали по тих сузір'ях, в яких вони були в далекі часи стародавніх греків, більше 2 тис. років тому. Зараз у результаті прецесії (див. п.6.3) має місце зміщення на одне сузір'я і точка весняного рівнодення розташовується вже не в сузір'ї Овна, а сузір'ї Риб.

Наявність площини екліптики дозволила розробити ще одну систему координат – екліптичну, в якій положення світила на небесній сфері визначається за допомогою екліптичної широти β і екліптичної довготи λ (рис. 6.2). Таким чином, основною площиною в цій системі координат є площина екліптики, а точкою відліку – точка ♈. Тут вводиться поняття кола широти світила, яке проходить через світило і полюс екліптики Π.

Екліптична довгота λ світила M – це центральний кут між напрямом на точку весняного рівнодення ♈ і площиною кола широти світила, виміряний у площині екліптики ($\angle$ ♈$OM'' = \cup$ ♈M'').

Екліптичну довготу λ відлічують від точки весняного рівнодення уздовж екліптики, назустріч видимому добовому обертанню небесної сфери до кола широти світила. Вимірюють її у градусах.

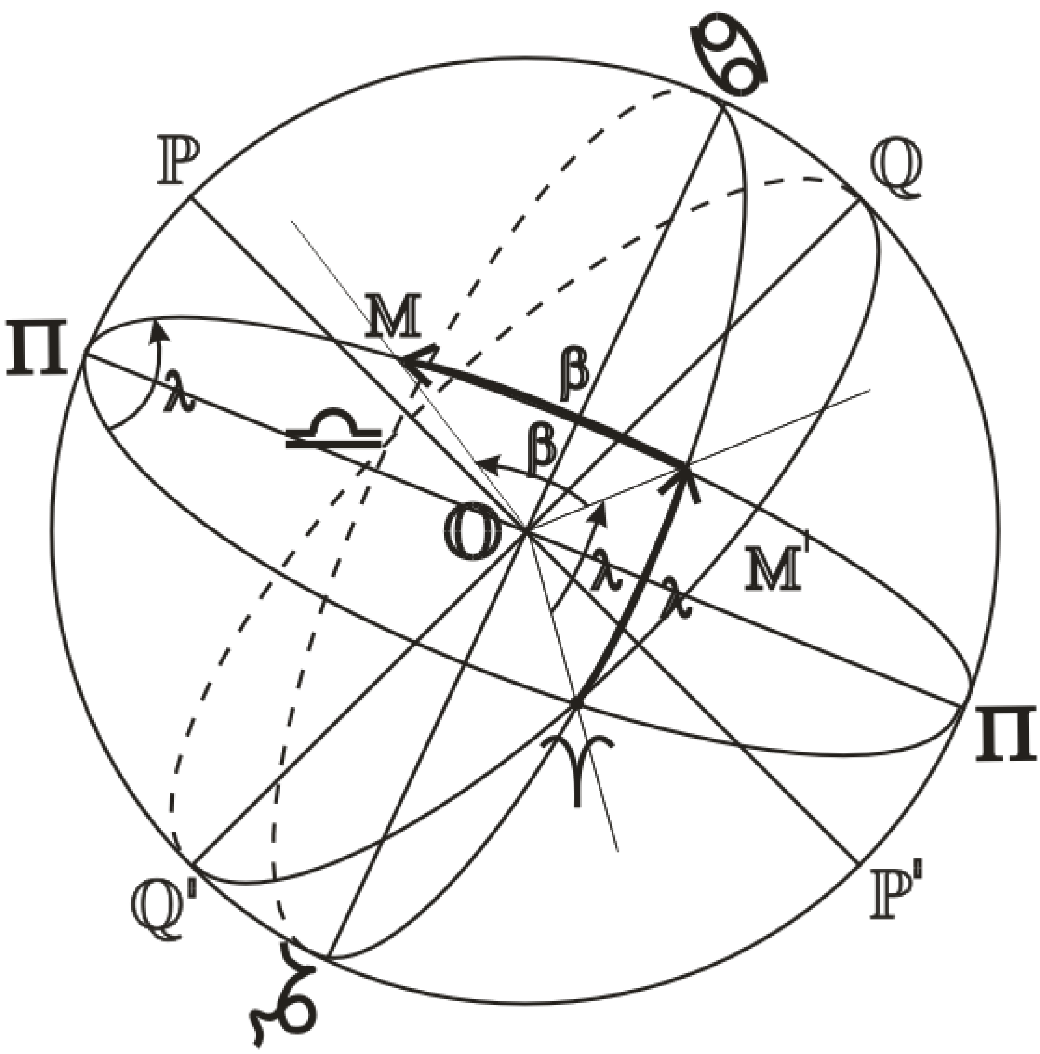


Рисунок 6.2 – Екліптична система координат

Екліптичною широтою β *світила* M *називається центральний кут між площиною екліптики і напрямом на світило, виміряний у площині кола широти світила* ($\angle MOM'' = \cup MM''$). Екліптичну широту β відлічують від екліптики вздовж кола широти до світила. Вимірюють її у градусах; вона додатна – до північного полюса екліптики, від'ємна – до південного полюса екліптики.

Цю систему координат використовують для вивчення руху Місяця та інших планет, у зв'язку з тим, що при своєму видимому русі відносно зірок вони ніколи не віддаляються від екліптики більше, ніж на декілька градусів.

6.2 Зміни екваторіальних координат Сонця протягом року

Рухаючись протягом року по екліптиці в напрямку проти годинникової стрілки (із заходу на схід), Сонце 21 березня перетинає небесний екватор у точці ♈, переходячи з південної півкулі у північну. У цей день його схилення δ і пряме сходження α дорівнюють 0º. У подальшому русі по екліптиці у північній півкулі Сонце, віддаляючись від екватора, 22 червня доходить до точки ε, а його схилення додатне $(\delta > 0)$. Точку ε називають *точкою літнього сонцестояння* і схилення Сонця в цей день сягає 23º27′, а *пряме сходження* становить 90º або 6^h. Після 22 червня Сонце починає наближатись до екватора і в день осіннього рівнодення (23 вересня), знову перетинає екватор в точці ♎. При проходженні через цю точку його схилення дорівнює 0º, а пряме сходження 180º або 12 год.. Після 23 вересня Сонце переходить в південну півсферу і його схилення *стає від'ємним*. В день зимового сонцестояння (22 грудня) Сонце попаде в точку ε' і схилення його дорівнює –23º27', а пряме сходження 270º або 18^h. Потім Сонце почне наближатися до екватора і 21 березня знову попаде в точку весняного рівнодення. Річний цикл завершено.

Цей *проміжок часу між двома послідовними проходженнями Сонця через точку весняного рівнодення називається тропічним роком*. Він дорівнює – 365,2422 доби.

Таким чином, екваторіальні координати Сонця змінюються протягом року: *схилення Сонця* δ *від* –23º27′ до 23º27′(це найбільша кутова відстань, на яку Сонце відходить від площини небесного екватора). *Пряме сходження* α – змінюється від 0º до 360º, або від 0 до 24 год.

Зміни цих координат протягом року відбувається нерівномірно. Пов'язано це з тим, що рух Землі проходить не по круговій орбіті, як ми це припускаємо, а по еліптичній і згідно з першим законом Кеплера Сонце знаходиться в одному з його фокусів.

Перший закон Кеплера: кожна планета рухається по еліпсу, в одному із фокусів якого знаходиться Сонце.

Величина стиску *r* цієї еліптичної орбіти визначається співвідношенням між великою a і малою b півосями орбіти

$$r = \frac{a-b}{a} = 0,017\,. \tag{6.1}$$

У дослідженнях впливу астрономічних факторів на зміни та коливання клімату частіше використовується поняття ексцентриситет *e*

$$e = \sqrt{1 - \frac{b^2}{a^2}}\ .$$

Другий закон Кеплера: радіус–вектор, проведений від Сонця до планети, за рівні проміжки часу описує рівновеликі площі.

Згідно з ним планети рухаються по орбіті нерівномірно, тобто лінійна швидкість їхнього руху змінюється. Найбільшу швидкість планета має в перигелії (Π), тобто в найближчій до Сонця точці своєї орбіти, а найменшу швидкість – в афелії (A) – в найбільш віддаленій від Сонця точці орбіти. Не зважаючи на незначну відміну великої (a) і малої (b) півосей земної орбіти (незначну відміну траєкторії руху Землі від кругової), її рух підпорядковується закону Кеплера.

Найближчу до Сонця точку Земля проходить 3 січня і її рух в цей період найшвидший; 4 липня, коли Земля проходить протилежну і найбільш віддалену від Сонця точку своєї орбіти її рух має найменшу швидкість.

Слід запам’ятати, що в зимовий період Земля розташовується до Сонця ближче ніж, в літній і швидкість руху Землі навколо Сонця взимку більша, влітку – менша.

Відомо, що тропічний рік триває 365,25 доби, а довжина екліптики становить 360°, через це у середньому за добу Сонце проходить 59,2′. Насправді ж, Сонце 3 січня проходить 61,2′ дуги екліптики, а 4 липня – лише 57,2′. Це зумовлює наступне: в проміжок часу від точки ♈ до точки ♎ (в літній період) Сонце проходить дугу екліптики за 186 днів, а в період від точки ♎ до точки ♈ – лише за 179 днів. Таким чином, *літній період в північній півкулі триваліший за літній період південної півкулі*.

Пряме сходження Сонця в середньому за добу змінюється приблизно на 1°. Проте, біля точок рівнодень, швидкість зміни α дорівнює 0,9°, поблизу точки літнього сонцестояння 1°, а зимового – 1,1° за добу.

Добові зміни схилення Сонця протягом року також не однакові.

6.3 Поняття про прецесію та нутацію

Проміжок часу між двома послідовними проходженнями Сонця через точку весняного рівнодення, як згадувалось вище, називається тропічним (або сонячним) роком і становить 365,2422 доби (365 діб 5 годин 48 хв 46,1 с). Проте, із спостереження моментів верхньої кульмінації зірок зодіакальних сузір’їв встановлено, що Сонце здійснює один оберт по екліптиці і знов повертається до тієї ж зірки за більший період – 365,2564 доби (або 365 діб 6 годин 09 хв 10 с). Проміжок часу, по закінченні якого

Сонце повертається до тієї ж зірки, завершивши повний оберт по екліптиці, називається *зоряним* або *сидеричним* роком. Відмінність тривалості зоряного і сонячного років зумовлена гравітаційним впливом на Землю Сонця та Місяця. Завдяки цьому площини земного та небесного екваторів, при майже незмінному їх нахилі, повільно обертаються зі сходу на захід і через це точки весняного та осіннього рівнодення зміщуються по екліптиці назустріч видимому річному рухові Сонця на 50,27" за рік або на 1° за 72 роки (рис. 6.3).

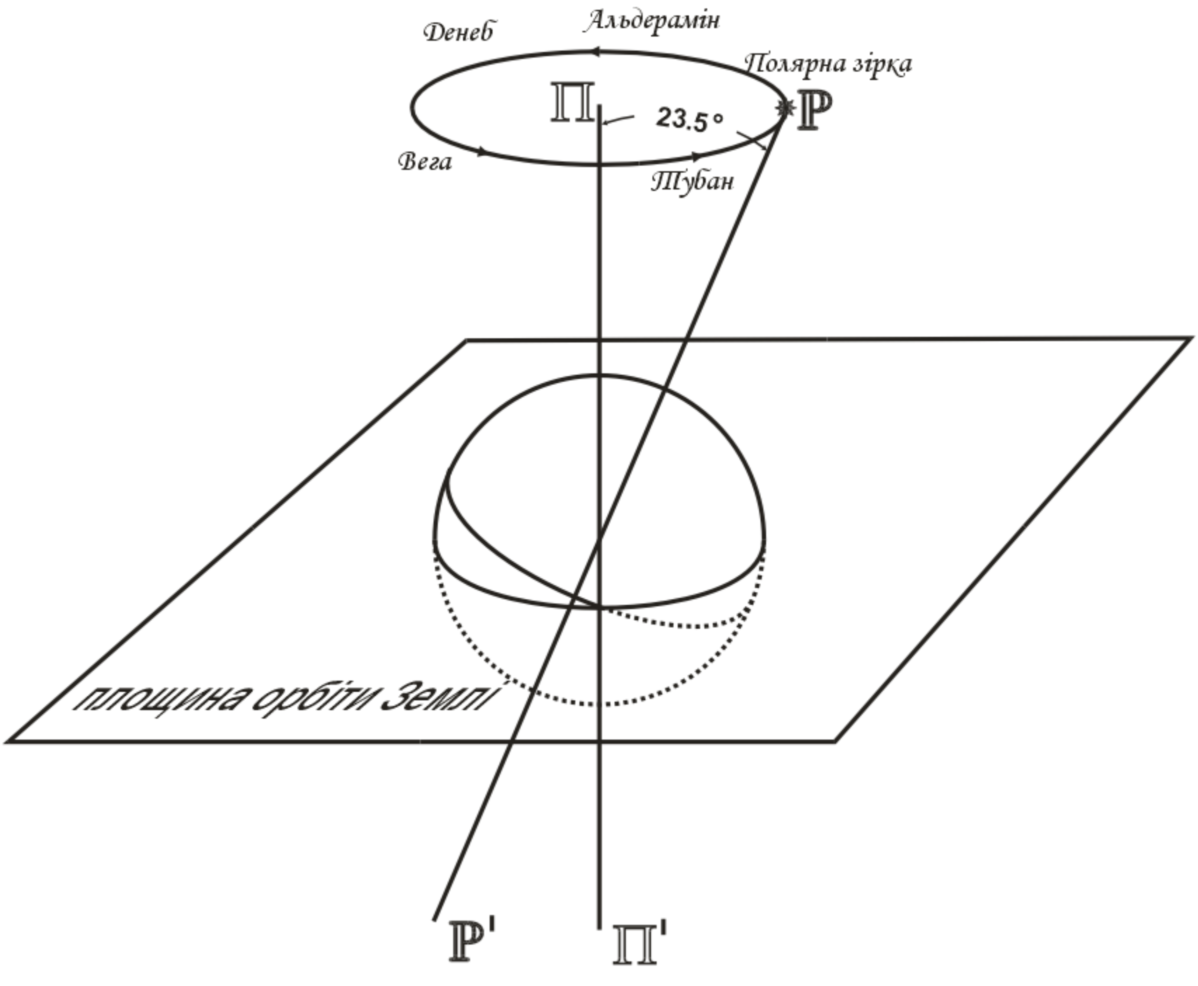


Рисунок 6.3 – Прецесійний рух земної осі

Це зміщення точок рівнодення, відкрите ще в II в. до н.е. стародавнім грецьким астрономом Гіппархом Родоським, називається *прецесією* (від лат. слова praecessio – випередження рівнодень).

Через прецесію Сонце щорічно приходить в точку весняного рівнодення на 20 хв 24 с раніше, ніж Земля завершить черговий оберт навколо нього. Повільний оберт призводить до того, що вісь світу також обертається за рік на 50,27", описуючи з часом у просторі конусну поверхню навколо осі екліптики. Такий оберт земної осі називається її прецесійним рухом. Через прецесійний рух земної осі, північний полюс світу переміщується небом навколо північного полюсу екліптики на ті ж 50,27" за рік.

Якби кут нахилу земної осі до площини екліптики завжди зберігав свою величину, то полюс світу описав би навколо полюса екліптики коло з кутовим радіусом 23º27′. Але, крім Місяця та Сонця, гравітаційний вплив на Землю здійснюють і планети, що призводить до повільного і незначного коливання площини земної орбіти, в результаті чого періодично трохи змінюється кут нахилу ε екватора до екліптики. У наш час цей кут $\boldsymbol{\varepsilon}$ щорічно зменшується на 0,47". Так, з 1980 р., коли ε = 23º27', зменшення на сьогодні відбулось майже на 5 секунд.

В результаті повільної і незначної зміни величини цього кута, полюс світу зміщується навколо полюса екліптики по незамкненій кривій, дуже близькій до кола, сферичний радіус якого приймається таким, що дорівнює 23º27′.

Один оберт навколо осі екліптики земна вісь здійснює за період T**:**

$$T_p = \frac{360^\circ}{50{,}27''} = \frac{360 \cdot 3600''}{50{,}27''} = 25800 \text{ років}; \qquad (6.2)$$

його називають *періодом прецесії*, тобто це період, за який полюси світу переміщуються на 360º навколо полюсів екліптики, а точки рівнодення повертаються в початкове положення на екліптиці. За цей час точка ♈ обходить всі зодіакальні сузір'я. Час зміщення на одне сузір'я становить більше 2 тис. років.

Внаслідок прецесії безперервно змінюються екваторіальні координати світил α та δ. І з часом суттєво змінюється вид зоряного неба. Наприклад, якщо зараз північний полюс світу розташований поблизу Полярної зірки (α Малої Медведиці), то через 12000 років він вже буде знаходитись недалеко від Веги (α Ліри) і інші зірки та сузір'я змінять своє положення: деякі перестануть заходити, а інші не будуть з'являтись зору спостерігача Північної півкулі.

Треба звернути увагу на те, що з'ясування тих чи інших астрономічних явищ, пояснення їх причин потребує тривалих спостережень за цими явищами.

У 1748 р. англійський астроном Джеймс Брадлей (1693 – 1762) на підставі своїх двадцятирічних спостережень за зорями, дійшов висновку, що на прецесійний рух полюсів світу накладається ще нутація (від лат.

Nutatio – коливаю) – коливання осі світу з амплітудою 9" і періодом 18,6 року.

Це зумовлено наступним: величина 50,27" називається загальною річною прецесією. Вона складається з місячно–сонячної прецесії, яка дорівнює +50,39" і планетної прецесії, що дорівнює –0,13".

Із загальної суми прецесії на частку Сонця припадає лише 16", а 32" – на дію Місяця тому, що Місяць знаходиться поблизу Землі і його роль в прецесії значно більша за роль Сонця.

Прецесійний вплив Сонця і Місяця безперервно змінюється. Він найменший, коли Місяць і Сонце знаходяться в площині небесного екватора і досягає максимуму, коли вони мають найбільше схилення. Через це явище прецесії ускладнюється: до руху точок рівнодення на екліптиці приєднується коливання більш дрібних періодів. Вони називаються *нутацією*. В результаті цього полюс світу переміщується по хвильовій кривій.

Як вже з'ясовано, все коло екліптики майже 2000 років тому було поділено астрономами на 12 однакових часток, кожна з яких позначалась знаком відповідного зодіакального сузір'я. Наприклад, перший відрізок дуги в 30º позначили знаком Овна ♈, другий – знаком Тельця, тощо. Тоді це відповідало реальному положенню цих сузір'їв на небі. Однак від початку нашої ери за ці 2000 років точка весняного рівнодення змістилась на 28º, тобто практично на дугу, що відповідає одному знакові зодіаку, і сьогодні вона знаходиться в сузір'ї Риб.

6.4 Явища, які супроводжують видимий річний рух Сонця

Протягом року з часом змінюються екваторіальні і горизонтальні координати Сонця. Так, зміна схилення Сонця δ від –23.5º до +23.5º 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. 6.4).

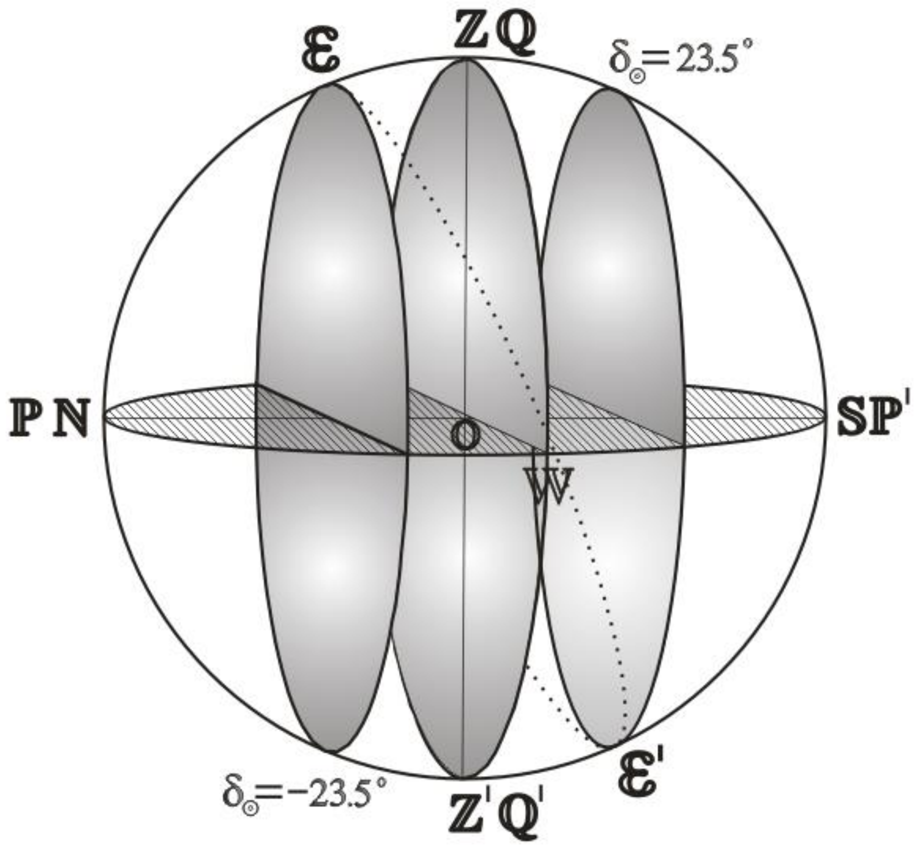


Рисунок 6.4 – Добовий рух Сонця в різні пори року на широті екватора

У районі тропіків в момент верхньої кульмінації Сонце сягає висоти 90° у день літнього сонцестояння на північному тропіку $\left(\delta_0 = \varphi = 23.5^\circ\right)$ і в день зимового сонцестояння на південному тропіку $\left(\delta_0 = \varphi = -23.5^\circ\right)$ – один раз на рік. Найменша полуденна висота тут становить 66.5° у день весняного та осіннього рівнодення (рис. 6.5).

Між екватором та тропічними широтами Сонце буває в зеніті двічі на рік – у дні, коли схилення δ Сонця за величиною дорівнює широті місцевості.

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° Сонце не заходить, а лише в момент нижньої кульмінації торкається горизонту в точці півночі *N*).

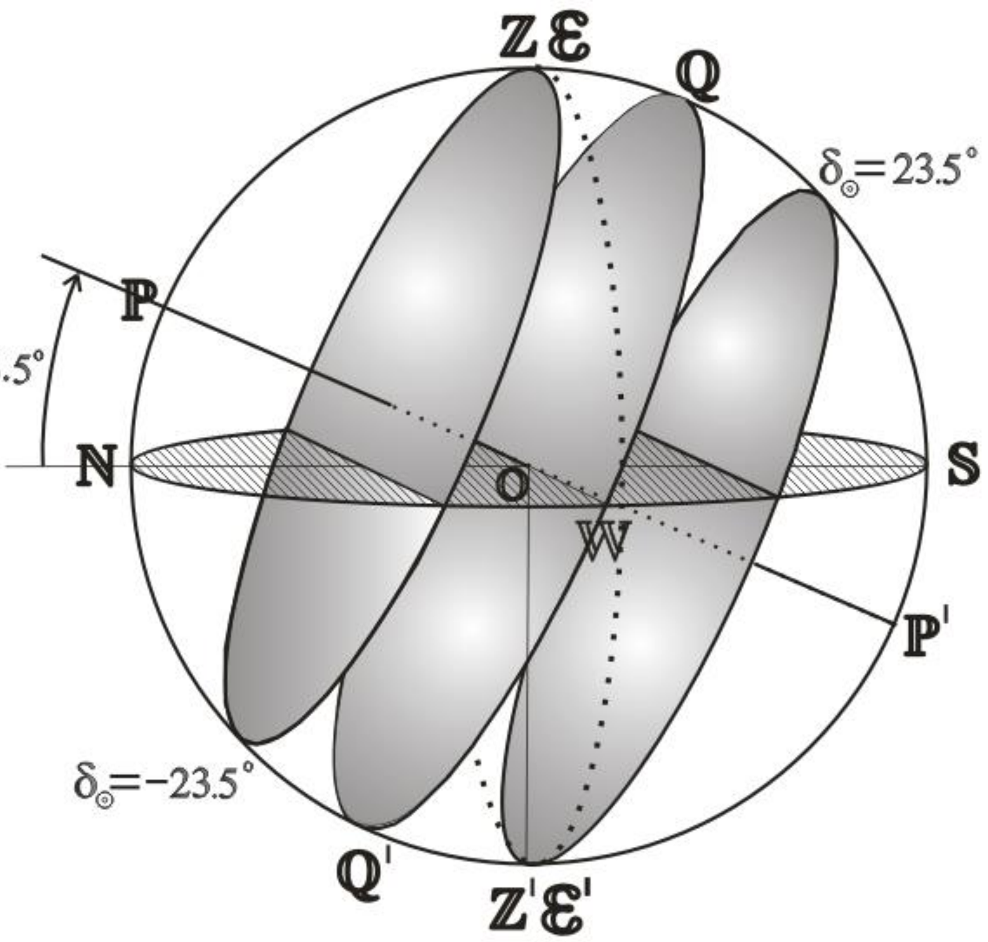


Рисунок 6.5 – Добовий рух Сонця в різні пори року
на широті північного тропіка

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

Траєкторія добового руху Сонця на широті полярного кола і північного полюса наведена на рисунках 6.6 і 6.7 відповідно.

На північному полюсі (φ = 90º) Сонце сходить приблизно 21 березня і його h_B = 0º; максимальної полуденної висоти (h_B = 23,5º) 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.

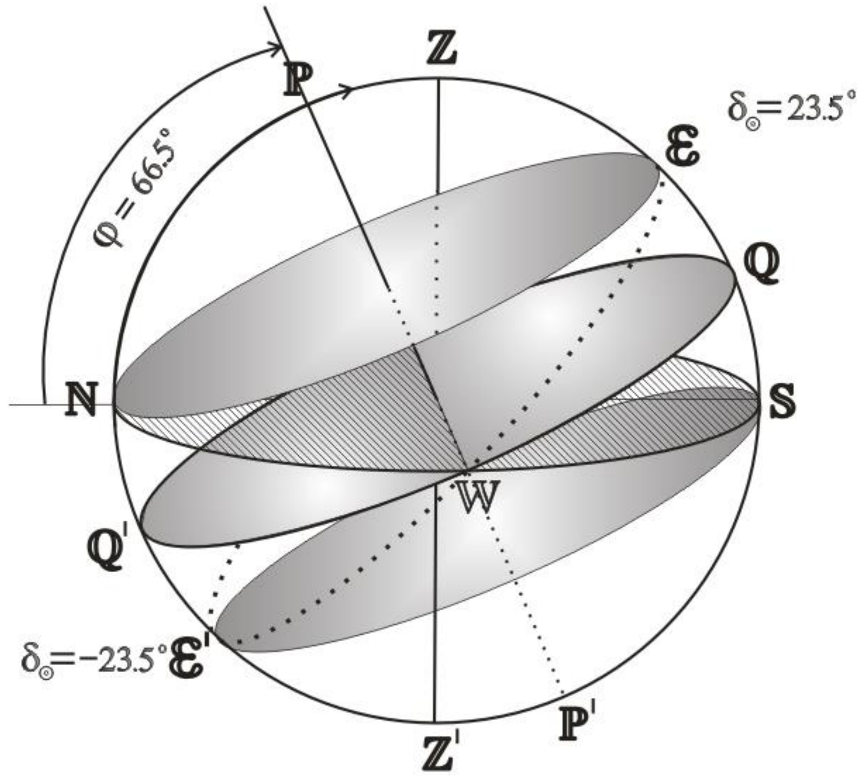


Рисунок 6.6 – Добовий рух Сонця в різні пори року
на широті північного полярного кола

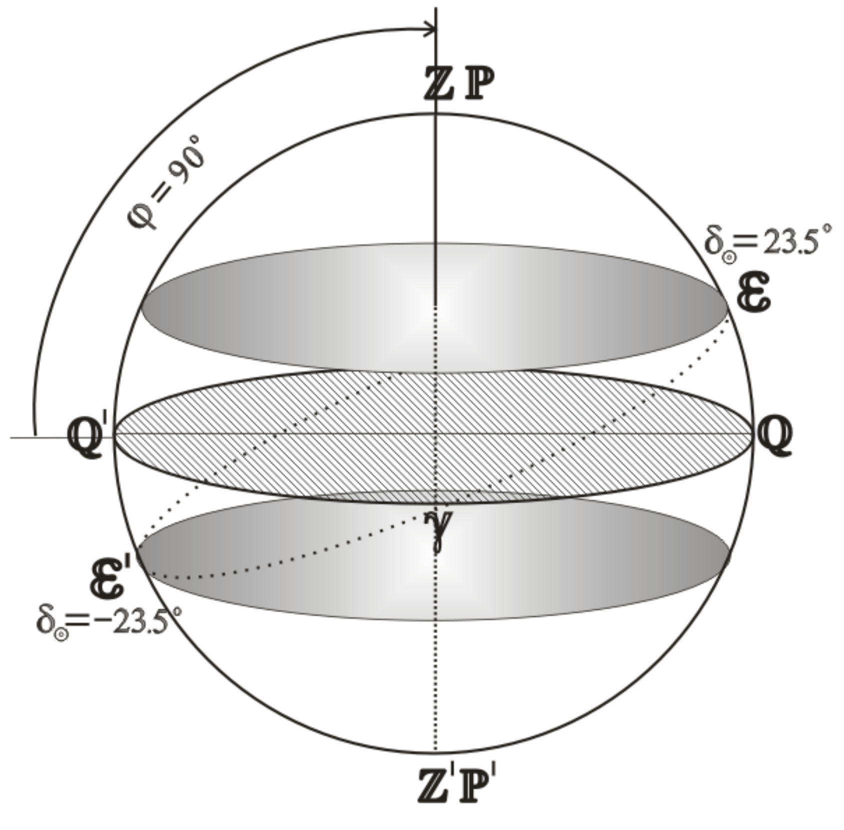


Рисунок 6.7 – Добовий рух Сонця в різні пори року на широті північного Полюса

Траєкторія добового руху Сонця на широті 45º півн. ш. наведена на рисунку 6.8.

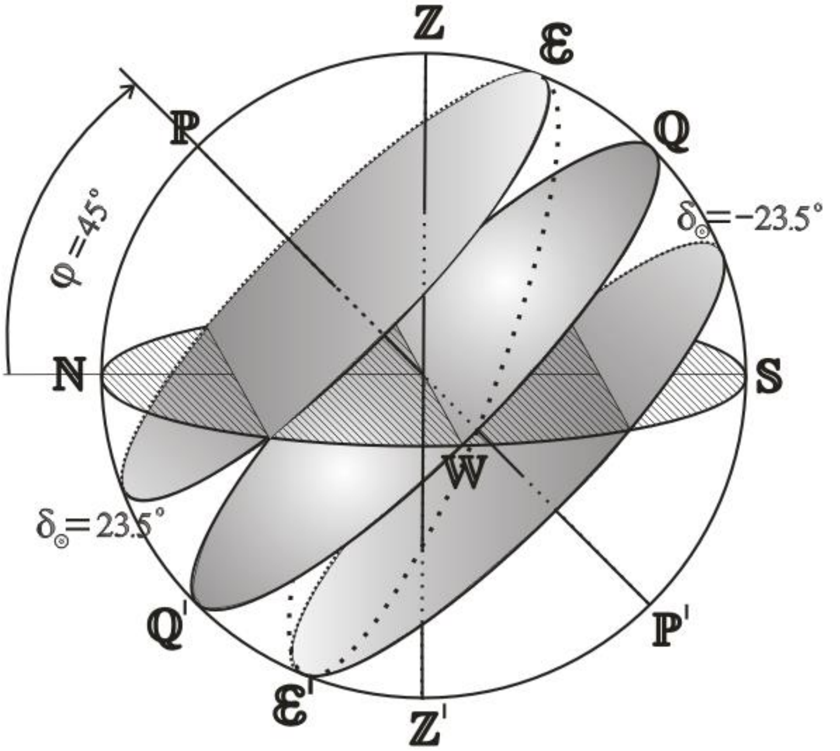


Рисунок 6.8 – Добовий рух Сонця в різні пори року на φ = 45^0 півн. ш.

Цей річний цикл зміни тривалості дня та ночі і добового шляху Сонця визначає значні відмінності в добових сумах інсоляції в різних районах земної поверхні і зумовлює зміну пір року на земній кулі. Причинами цього є:

1) обертання Землі навколо Сонця;
2) нахилу земної осі до площини земної орбіти;
3) збереження напрямку земної осі у просторі.

Різні умови освітленості та обігріву різних районів земної кулі визначають кліматичні відмінності на Землі. Межі теплових (кліматичних) поясів, які встановлюються за астрономічними ознаками, дозволяють виділити такі кліматичні пояси:

*жаркий (*тропічний) *пояс*, який простирається по обидва боки екватора до північного та південного тропіка;

холодний (полярний) *пояс*, обмежений полярними колами. Виділяють північний (Арктичний) та південний (Антарктичний) полярний пояси;

помірний пояс – між тропіками та полярним колом. Їх два – в північній та південній півкулі.

Цей розподіл на кліматичні пояси за астрономічними ознаками далекий від досконалості, тому виділення кліматичних поясів здійснюється за комплексом критеріїв, але астрономічні ознаки в деяких випадках є головними.

6.5 Практична частина

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 ($\varphi = 0°$) до полюса ($\varphi = 90°$) через 10^{o} в різні пори року в дні весняного та осіннього рівнодення, літнього та зимового сонцестояння.

Результати розрахунків занести в таблицю

Дата	Схилення Сонця	Висота	Широта, φ^{o}									
			0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
21.03		$h_в$ $h_н$										
22.04		$h_в$ $h_н$										
23.09		$h_в$ $h_н$										
22.12		$h_в$ $h_н$										

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^o, 45^o, 180^o.
8. Визначити горизонтальні координати «Вашого» Сонця на момент, коли його годинний кут дорівнює 45^o (графічно).

<u>Варіанти для виконання роботи:</u>

1. широта 0^o в день літнього сонцестояння;
   широта 70^o в день весняного рівнодення.

2. широта 10^o в день зимового сонцестояння;
   широта 80^o в день осіннього рівнодення.

3. широта 20^o в день весняного рівнодення;
   широта 90^o в день літнього сонцестояння.

4. широта 0^o в день зимового сонцестояння;
   широта 30^o в день осіннього рівнодення.

5. широта 40^o в день літнього сонцестояння;
   широта 90^o в день зимового сонцестояння.

6. широта 0^o в день весняного рівнодення;
   широта 80^o в день літнього сонцестояння.

7. широта 20^o в день літнього сонцестояння;
   широта 50^o в день осіннього рівнодення.

8. широта 20^o в день зимового сонцестояння;
   широта 70^o в день осіннього рівнодення.

9. широта 0^o в день осіннього рівнодення;
   широта 60^o в день літнього сонцестояння.

10. широта 10^o в день весняного рівнодення;
    широта 30^o в день літнього сонцестояння.

7 ЧАС І ЙОГО ВИМІРЮВАННЯ

7.1 Загальні положення

Час – це одна з об’єктивних форм існування матерії. Його плин можна виміряти будь–яким процесом, який повторюється в природі. Цей процес має бути рівномірним, щоб установлені з його спостережень одиниці відліку часу зберігали свою сталість.

Дві основні одиниці часу – доба та рік – надано природними астрономічними явищами: добовим обертанням Землі навколо своєї осі та річним обертанням Землі навколо Сонця. Лік великих проміжків часу ведеться за допомогою розроблених календарних систем.

Розроблено декілька систем ліку часу, кожна з яких має своє застосування. Заради короткості термін “система відліку часу” замінюється просто терміном “час”.

Час, заснований на русі Землі, а також на спостереженнях за зірками, Місяцем, планетами називають астрономічним (зоряний час, сонячний час та інші).

Одиниця часу є однією з семи основних одиниць Міжнародної системи одиниць (СІ).

Секунда ефемеридна – 1/31556925,9747 години тропічного року 1900 на 0 січня о 12 годині ефемеридного часу, тобто року, який почався о 12 годині 31.12.1899р. (введено з 1960р.).

Секунда атомна дорівнює 9 192 631 770 періодам випромінювання, що відповідає переходу двох надтонких рівнів основного стану атома цезія - 133 (введено з 1967 р.).

7.2 Зоряний час

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

На практиці зоряний час S прийнято вимірювати за допомогою точки весняного рівнодення Υ. Тоді *зоряна доба – це проміжок часу між двома послідовними верхніми кульмінаціями точки весняного рівнодення на одному і тому же географічному меридіані* (рис. 7.1).

За початок зоряної доби ($S = 0^h 0^m 0^s$) прийнято момент верхньої кульмінації точки весняного рівнодення на даному меридіані. І тоді зоряний час – це час, який минув від верхньої кульмінації точки весняного рівнодення. Вимірюється він годинним кутом t_γ в годинах, хвилинах, секундах, тобто $S = t_\gamma$. Він показує, скільки часу назад точка весняного рівнодення була в меридіані.

Оскільки точка весняного рівнодення на небесній сфері не позначена і безпосередньо виміряти її годинний кут (помітити момент проходження нею небесного меридіана) не можна, то для встановлення початку зоряної доби або зоряного часу в будь–яку мить, вимірюють годинний кут будь–якого світила M, пряме сходження α_M якого відомо (див. п.4.3).

Земля – це куля і в кожній її точці, точніше на різних географічних меридіанах, кульмінація точки весняного рівнодення відбувається в різні моменти часу. Якщо позначити через S_0 зоряний час на нульовому Гринвіцькому меридіані, то для спостерігача, який перебуває на схід від Гринвіча і географічна довгота якого λ (в годинних одиницях вимірювання), зоряний час S буде таким:

$$S = S_0 + \lambda . \qquad (7.2)$$

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

У суспільно–виробничій діяльності відлік часу йде за Сонцем, тому у побуті використовують сонячний час. Але Гринвіцький зоряний час має широке використання і його значення S_0 на початок доби наведений у всіх “Астрономічних календарях”.

7.3 Сонячний час

Розрізняють істинний (справжній) та середній сонячний час. Істинний сонячний час T вимірюють годинним кутом центра диска Сонця (t_Θ). *Проміжок часу між двома послідовними верхніми кульмінаціями центра диска Сонця називають справжньою (істинною) сонячною добою*.

У момент верхньої кульмінації Сонця, який називають істинним (справжнім) полуднем, годинний кут $t_\Theta = 0$.

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

Для створення системи лічби часу, одиниці якого були б сталими, ввели поняття “середнього Сонця”. *Середнє Сонце* – це *уявна точка, яка рівномірно рухається по небесному екватору в тому ж напрямку, в якому справжнє Сонце рухається по екліптиці, і завершує повний оберт за один тропічний рік* (тобто проміжок часу між двома проходженнями Сонця через точку Υ).

Одиницею вимірювання поточного часу є *середня сонячна доба*, тобто проміжок часу між двома послідовними верхніми кульмінаціями середнього Сонця. Тривалість середньої сонячної доби є сталою

$$1 \text{ сер.сон.доба} = \frac{1 \text{ тр.рік}}{365{,}2422}, \qquad (7.3)$$

Протягом доби середній сонячний час вимірюють годинним кутом середнього Сонця $t_{сер}$.

Момент верхньої і нижньої кульмінації середнього Сонця називають середнім полуднем і середньою північчю.

Середній сонячний час визначають на основі справжнього (істинного) сонячного часу. Зв’язок між положенням на небесній сфері середнього та справжнього Сонця носить досить складний характер, його досліджує небесна механіка. Різниця між середнім та істинним сонячним часом називається *рівнянням часу* η:

$$\eta = t_{сер} - t_{\Theta}. \qquad (7.4)$$

Враховуючи, що $S = \alpha + t$ (п. 4.3), рівняння часу можна записати так

$$\eta = \alpha_{\Theta} - \alpha_{сер},$$

де

α_{Θ} і $\alpha_{сер}$ – пряме сходження (піднесення) істинного та середнього Сонця.

Числові значення η для кожної доби року за даними астрономічного щорічника наведені в таблиці А.1, деякі з них – в табл. 7.1.

Таблиця 7.1 – Значення рівняння часу η в деякі дні року

Дати	11.11	15. IV	15.V	14. VI	26. VII	1.X	3.XI	25. XII
η, хв	14,3	0	–3,8	0	+ 6,4	0	– 16,4	0

Його подають і графічно – графік рівняння часу (рис. 7.2). Найбільша розбіжність між положеннями справжнього Сонця і середнього буває 12 лютого (тоді $\eta = +14\text{хв}17\text{с}$) і 3 – 4 листопада ($\eta = -16\text{хв}\,24\text{с}$). Чотири рази на рік (15 і 16 квітня, 13 і 14 червня, 1 вересня і 25 грудня) рівняння часу $\eta = 0$.

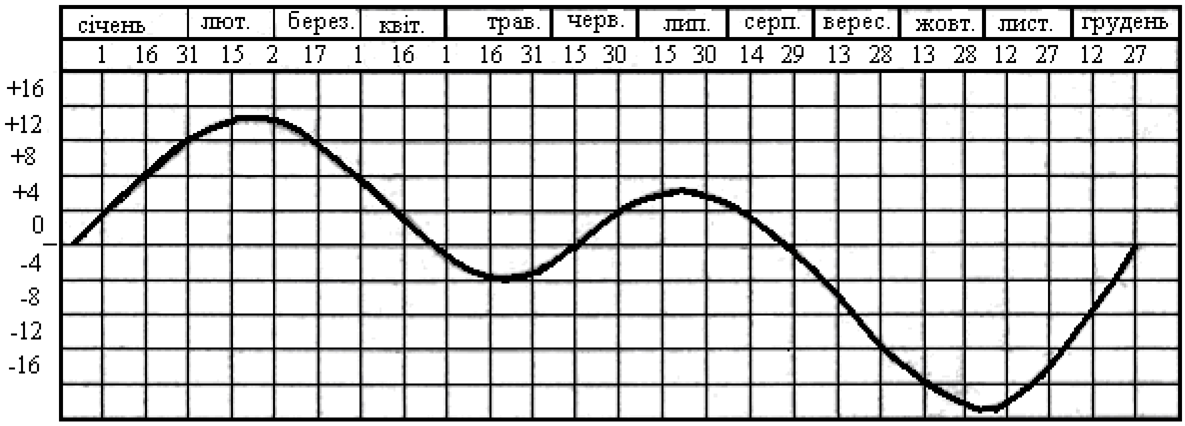


Рисунок 7.2 – Графік рівняння часу

За початок середньої доби умовились приймати середню північ, тобто момент нижньої кульмінації середнього Сонця. Таким чином, середній сонячний час $T_{сер}$ вимірюють годинним кутом середнього Сонця $t_{сер}$, збільшеним на 12 годин (*громадянський час*):

$$T_{сер} = t_{\Theta} + \eta + 12^{h}. \tag{7.5}$$

Середній сонячний час поділяють на місцевий, поясний, декретний, літній.

7.4 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 меридіана існує свій початок доби, свій відлік часу, тобто на кожному меридіані свій місцевий час T_{λ}. *Місцевий час* T_{λ} *– це середній сонячний час даного меридіана*.

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, яка виражена у годинній мірі (рис. 7.3). Тоді

$$S_1 - S_2 = T_1 - T_2 = T_{сер1} - T_{сер2} = \lambda_1 - \lambda_2 , \qquad (7.6)$$

Місцевий (середній сонячний) час Гринвіцького меридіана, який прийнято за початковий або нульовий, *називають Всесвітнім (або універсальним) часом* T_0. Його використовують для визначення часу на інших меридіанах.

Очевидно, що

$$T_\lambda = T_0 + \lambda . \qquad (7.7)$$

За таким часом жили люди упродовж століть. Через необмежено велику кількість місцевих часів користуватись ними (особливо з розвитком залізниць і потребою складати графіки поїздів) в практичній діяльності стало незручно. Виникла потреба певного упорядкування лічби часу. У 1884 р. Міжнародна конференція представників 26 держав прийняла систему *поясного часу*.

За цією системою всю земну кулю поділили на 24 годинні пояси з нумерацією від 0–го до 23–го так, що ширина по довготі такого поясу дорівнює $15°$. Через середину кожного годинного поясу проходить центральний (або основний) меридіан поясу.

Пояс, центральним меридіаном якого є Гринвіцький меридіан, називають *нульовим*. Він простягається по довготі на $7{,}5^\circ$ на захід і на стільки ж на схід від Гринвіцького.

Місцевий (або середньосонячний) час центрального меридіана будь-якого поясу T_n *називають поясним часом.*

Лічба годинних поясів іде із заходу на схід від нульового. При цьому номер годинного поясу n чисельно дорівнює довготі його центрального (основного) меридіана λ_n, поділеній на 15:

$$n = \lambda_n / 15 . \qquad (7.8)$$

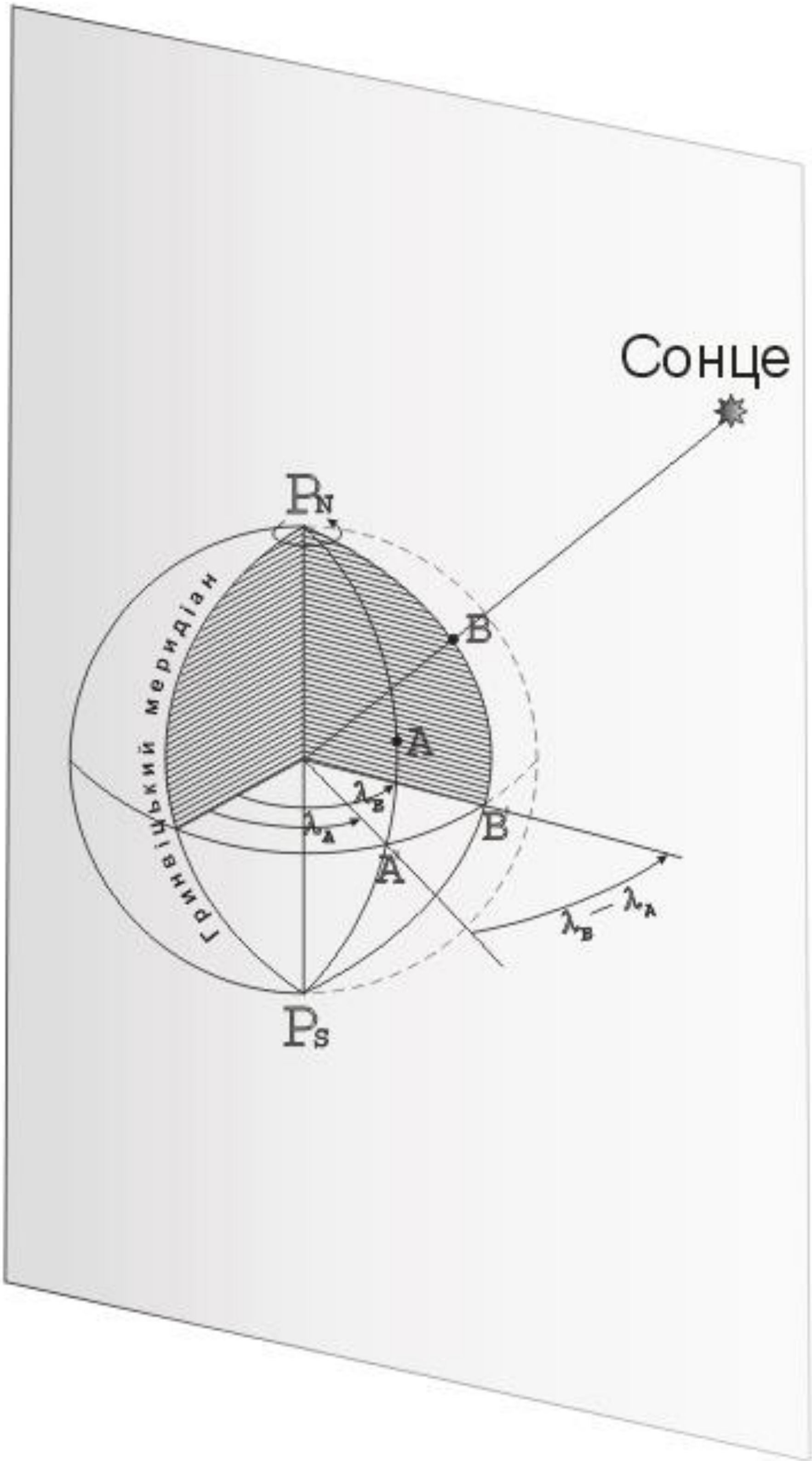


Рисунок 7.3 – До визначення різниці між середніми місцевими часами на різних меридіанах (Сонце знаходиться у площині меридіана з довготою λ_B)

Якщо при діленні залишок буде меншим за 7,5°, то частка приймається за номер поясу; якщо залишок – більший за 7,5°, то для визначення номера поясу частку збільшують на 1.

Слід пам'ятати, що фактичні межі годинних поясів, в окремих випадках не співпадають з географічними меридіанами, тому слід користатись спеціальною картою годинних поясів (рис. 7.4).

Пояс, який знаходиться на схід від Гринвіча, позначається n_E і вважається додатним, а на захід – позначається n_W і вважається від´ємним.

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

Для переходу від місцевого часу до поясного або назад слід скористатись співвідношенням між часом та довготою. Так, різниця між поясним часом T_n та місцевим часом T_λ пункту $\boldsymbol{A}$ з географічною довготою λ:

$$T_n - T_\lambda = n - \lambda\,. \qquad (7.9)$$

Тоді

$$T_n = T_\lambda + (n - \lambda), \qquad (7.10)$$

$$T_\lambda = T_n + (\lambda - n). \qquad (7.11)$$

Якщо $\lambda = 0$, то

$$T_n = T_0 + n, \quad \text{а} \quad T_\lambda = T_0 + \lambda\,. \qquad (7.12)$$

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

На території СНД виділено 11 поясів (з 2–го по 12–тий включно).

Вся європейська територія СНД охоплена двома годинними поясами – другим та третім; територія України розташована в другому годинному поясі.

Усся Європа знаходиться у нульовому та першому годинних поясах. Центральний меридіан першого поясу проходить дещо на схід від Праги. Цей час названо *середньоєвропейським* .

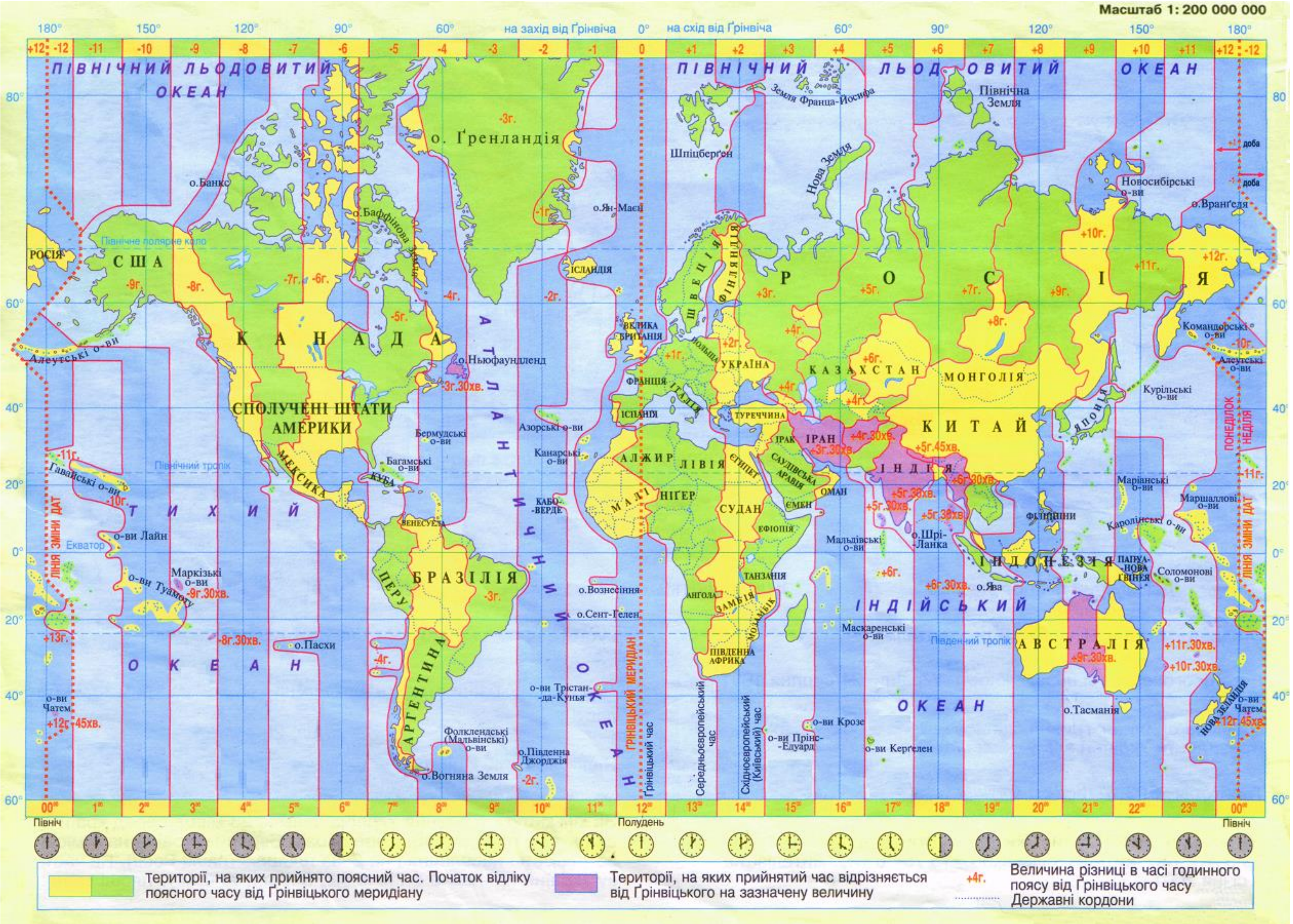


Рисунок 7.4 – Карта годинних поясів

У дванадцятому поясу проходить лінія зміни дат. Центральний меридіан (180° сх.д.) цього поясу вважають *демаркаційною лінією* між західною та східною півкулями. Він проходить від північного до південного полюса Землі через Берингову протоку і води Тихого океану. Звідси на нашій планеті починається нова доба і новий рік.

Якщо мандрівник перетинає цю лінію, рухаючись на схід, то він потрапляє у вчорашню дату, якщо ж на захід – у завтрашню. Щоб цей ефект врахувати, у морській (і в повітряній) навігації прийнято таке правило: якщо корабель перетинає лінію зміни дати в напрямку із заходу на схід (корабель переходить у попередню дату), то у вахтовому журналі фіксують момент переходу, але дату не виправляють. Її однак повторюють наступного дня. Наприклад, після 10 червня знову пишуть 10 червня.

І навпаки, при перетині лінії зміни дати в західному напрямку (корабель переходить у нову дату) наступного дня одна календарна дата викидається. Наприклад, після 10 червня пишуть 12 червня.

Для деякого заощадження електроенергії і більш ефективного використання природної освітленості на початку XX ст. окремі країни світу почали переходи на *літній* час: в останню неділю березня вночі стрілку годинника переводять на одну годину вперед, а в останню неділю жовтня – назад. Очевидно, що літній час $T_л$ пов'язаний з поясним $T_п$ простим співвідношенням:

$$T_л = T_п + 1^h . \tag{7.13}$$

Літній час вперше було введено в Англії у 1908 році, а у СРСР його ввели декретом Ради Народних Комісарів з 16 червня 1918 р. на літній період. Проте, у зимову пору року стрілки годинників назад переведено не було. Таким чином, на всій території колишнього СРСР впроваджено так званий *декретний час*, який відрізняється від поясного на 1 годину:

$$T_д = T_п + 1^h = T_0 + n + 1^h . \tag{7.14}$$

Відмінність у декретному часі $T_{д2}$ та $T_{д1}$ двох годинних поясів n_2 і n_1 визначають із співвідношення

$$T_{д2} - T_{д1} = n_2 - n_1 . \tag{7.15}$$

У будь–якому пункті з географічною довготою λ декретний час пов'язаний з місцевим залежністю

$$T_\partial - T_\lambda = (n - \lambda) + 1^h. \qquad (7.16)$$

Декретний час другого годинного поясу називають *московським часом* T_M. Він відрізняється від Гринвіцького (всесвітнього) часу T_0 на 3 години

$$T_\partial = T_0 + n_2 + 1^h = T_0 + 3^h. \qquad (7.17)$$

Щоб від поясного часу території Росії перейти до всесвітнього, потрібно від поясного відняти номер поясу і щоб врахувати декретний час, потрібно відняти ще одну годину

$$T_0 = T_n - n - 1^h. \qquad (7.18)$$

З 1981 р. на території колишнього СРСР на літній період вводили літній час, тобто стрілки годинників переводили ще на одну годину вперед від декретного. За цим часом жили і на теренах України. Але з 1991 року у нашій державі скасовано декретний час. І у практичній діяльності, в тому числі в транспорті та зв'язку, використовується поясний час, який дорівнює місцевому часу 30° меридіана, на якому розташоване м. Київ. Цей час ще називають *київським*. За цим часом ми живемо взимку. А влітку, як і багато країн світу, Україна теж переходить на літній час. І в цей період *київський час* $T_K = T_0 + 3^h$, а *московський* $T_M = T_0 + 4^h$. Літній час скасовують в останню неділю жовтня.

7.5 Ефемеридний час

Починаючи з 1960 р., в астрономічних щорічниках координати Сонця, Місяця, планет і їх супутників, публікуються в системі *ефемеридного (динамічного) часу*. Це зумовлено тим, що впродовж багатьох століть, вимірюючи час, припускали обертання Землі навколо осі рівномірним. Проте, за останні 100 років отримано переконливі докази (а в 30–х роках XX століття остаточно встановлено), що Земля обертається навколо своєї осі нерівномірно. Це обумовлено тим, що, по–перше, обертання Землі поступово сповільнюється, а тривалість земної доби збільшується на 1–2 тисячних частки секунди за 100 років; і, по–друге, тривалість доби коливається протягом року: весною вона майже на 0,001с довша, а в середині року на 0,001с коротша від середнього значення. Зауважимо, що йдеться не про нерівномірність руху Сонця по екліптиці, про що згадувалось раніше, а саме про нерівномірність обертання Землі навколо осі.

Найімовірніше, що сезонні коливання тривалості доби пов'язані з циркуляцією атмосфери .

Тривалі періодичні зміни зумовлені гальмівним впливом Місяця і Сонця (припливами та відпливами), які виникають в океанах завдяки притяганню з їх боку, а також змінами маси льоду в Антарктиді та Гренландії. Проте причина стрибкоподібних змін швидкості обертання Землі, які сягають 0,0034с (за останні 100 років це траплялось у 1864, 1876, 1898 і 1920 рр.) невідома .

Ці занадто малі зміни не суттєві для повсякденного життя людини. Але поступове збільшення тривалості середньої сонячної доби виключає можливість використання поточної доби (доби конкретного року) як одиницю часу, зокрема при обчисленнях положень Сонця і планет на багато років наперед (тим більше для обчислення моментів і місця сонячних та місячних затемнень, які трапилися тисячу чи дві тисячі років тому).

Це стало причиною введення рівномірного *ньютонівського* або *ефемеридного часу*, який і використовують тепер для розрахунку положень планет, автоматичних міжпланетних станцій (АМС) і штучних супутників Землі (ШСЗ). Таким чином, ефемеридний час – це рівномірно плинучий час, який використовується у формулах і законах динаміки при обчисленні координат (ефемерид) небесних тіл.

До відкриття нерівномірності обертання Землі одиниця міри часу – *секунда* – визначалась як 1/ 86400 частка середньої сонячної доби. У 1956р. Міжнародний комітет мір і ваг прийняв рішення вважати секундою 1/31556925,9747 ($86400 \times 365{,}2421988$) частину тропічного року для моменту 1900р 0 січня (тобто 31 грудня попереднього року) на 12 годин ефемерного часу. Це і була середня сонячна секунда на початок 1900р.

Нове визначення секунди пов'язане з рухом Землі навколо Сонця, в той час як старе визначення грунтується тільки на її обертанні навколо своєї осі.

Швидкість обертання Землі навколо осі поступово сповільнюється, тому кожна середня сонячна доба сьогодні довша за ефемеридну добу початку 1900 р. Через це і початок кожного наступного року за ефемеридним часом починається раніше, ніж за календарним. Зокрема, на початок 1992 р. різниця між ефемеридним часом T_e і Всесвітнім T_0 становила 58 с.

7.6 Атомний час

У 1964 р. за еталон часу прийняли атомний цезієвий годинник. Це дозволило отримати принципово нову систему часу, яка не залежить від руху Землі. Вона одержала назву атомний час.

У 1967 р. на Міжнародній конференції мір і ваг за одиницю вимірювання часу була прийнята *атомна секунда – це проміжок часу, за який здійснюється 9 192 631 770 коливань електромагнітної хвилі, яку випромінює атом цезія – 133.* Вона максимально близька до ефемеридної секунди.

З 1 січня 1972 р. усі країни світу перейшли на лічбу часу за допомогою атомних годинників.

Проте, порівняно з фіктивними ідеальними годинниками, які відлічують ефемеридний час (а його визначають з аналізу руху Місяця навколо Землі), атомні годинники дещо поспішають. За рік різниця в показаннях цих двох типів годинників сягає 0,9 с. Тому за міжнародною угодою в ніч з 31 грудня на 1 січня або з 30 червня на 1 липня цю розбіжність усувають таким чином: остання хвилина року (чи півроку) має не 60, а 61 с. Для зручності лічби секунд у році в деяких випадках після 58–ї секунди йде безпосередньо 60–та, нульова, показання атомних годинників пересувають на одну секунду назад. За угодою відхилення атомного часу від ефемеридного не повинно перевищувати 0,7 с.

За допомогою радіо, сигнали точного часу передають в ефір у вигляді шести секундних імпульсів, причому початок останнього сигналу означає кінець години. Крім того, декілька радіостанцій світу ведуть передачі сигналів поточного часу. У цих сигналах є зашифрована інформація про величину відхилення атомного часу від ефемеридного.

7.7 Зв’язок між сонячним і зоряним часом

Не лише в щоденному житті, а й при реєстрації тих чи інших астрономічних явищ, використовується середній сонячний час (поясний, літній, всесвітній). Однак вигляд зоряного неба залежить від зоряного часу, тобто від положення точки весняного рівнодення відносно небесного меридіана. Отже, треба виявити зв’язок між цими двома системами лічби часу.

Оскільки за добу Сонце зміщується по екліптиці на $0{,}986^{\circ}$, то сонячна доба довша від зоряної на 3 хв 56,555 с, тобто майже на 4 хв. За рік ця різниця становить добу: *у тропічному році* налічується 365,2422 середніх *сонячних діб* і 366,2422 *зоряних*.

Довести сказане можна за допомогою таких міркувань. Нехай у день весняного рівнодення 21 березня центр диска Сонця співпадає з точкою γ

якраз у момент верхньої кульмінації. За добу до полудня 22 березня Сонце зміститься на схід майже на 1°, тому центр його диска пройде знову через небесний меридіан на 3 хв 56 с пізніше, ніж точка Υ.

Середній сонячний час T_{λ} і зоряний час співпадають 23 вересня (тоді в момент нижньої кульмінації Сонця, коли на меридіані спостерігача починається сонячна доба, точка Υ перебуває у верхній кульмінації і починається зоряна доба).

Кожного наступного дня точка Υ переходить через небесний меридіан на 3 хв 56 с швидше ніж Сонце, тому різниця між сонячним і зоряним часом зростає. Через 3 місяці, 22 грудня, на початок сонячної доби зоряний час S_0 = 6 год; через півроку 21 березня, у той же момент S_0 = 12 год (Сонце і точка Υ одночасно перебувають у нижній кульмінації, але зоряний час відлічують від верхньої кульмінації точки Υ). Ще через три місяці, 22 червня, на початок сонячної доби $\boldsymbol{S_0}$ = 18 год, так що до наступного осіннього рівнодення набігає ціла зоряна доба.

Зоряний час $\boldsymbol{S_0}$ на початок кожної доби наведений у всіх астрономічних щорічниках.

7.8 Час у системі гідрометслужби

7.9 Календар і літочислення

Календарем прийнято називати певну систему лічби тривалих проміжків часу з поділом їх на окремі коротші періоди (роки, місяці, тижні, дні).

Саме слово календар походить від латинських слів caleo – проголошую і calendarium – боргова книга. Перше нагадує про те, що у Давньому Римі, звідки до нас прийшов наш календар, початок кожного місяця проголошується окремо, а друге – що там першого числа кожного місяця було прийнято сплачувати відсотки за борги.

Як вже згадувалось, календарні одиниці лічби часу, зокрема місяць і рік, сформувались при їхньому зіставленні з природними явищами, які періодично повторюються. Це – зміна фаз (зовнішнього вигляду) Місяця і зміна пір року. Відповідно до них існують проміжки часу *синодичний* *місяць* (29,53059 доби) і *тропічний рік* (365,2422 доби), які покладено в основу календарного року.

Залежно від того, які одиниці лічби часу вибрано за головні та якими були традиції чи релігійні уявлення людей, у різних місцях нашої планети розроблено сонячні, місячно–сонячні і місячні календарі.

У сонячних календарях за основу лічби беруть зміну пір року, тоді як на зміну фаз Місяця не зважають. Найдавнішим з відомих сонячних календарів був єгипетський, в якому календарний рік складався з 12 місяців по 30 днів у кожному, після чого вставляли п’ять додаткових днів. Сонячним є і наш календар, хоча його історія вказує на те, що спочатку давні римляни зіставляли початки своїх місяців з фазами Місяця.

Календар, в якому лічбу днів проводять проміжками часу, близькими до тривалості синодичного місяця, а зміну пір року взагалі до уваги не беруть, називається *місячним календарем*.

Саме такою системою лічби часу користуються нині всі народи, які сповідують іслам. Цей календарний рік складається з 12 місяців, в яких непарні місяці мають по 30 діб, парні – по 29, тобто він налічує всього 354 доби. Оскільки ж 12 синодичних місяців – це 354,367 доби, то протягом певного часу набігає декілька діб: у “турецькому циклі” – три доби на 8 років, в “арабському циклі” – 11 діб за 30 років. Завдяки цьому перше число календарного місяця припадає на дні першої появи вузького серпа Місяця на вечірньому небі, яку давні греки назвали неоменією (новий місяць).

Календар, в якому менші проміжки часу вимірюють місяцями по 30 і 29 діб, у ритмі зі змінами фаз Місяця, але в середньому за якийсь більший відрізок часу тривалість календарного року підтримується близькою до тропічного року, називається місячно–сонячним. У наш час таким календарем користується Ізраїль.

У минулому такі системи лічби часу, мабуть були у більшості народів світу, у тому числі і в наших далеких предків.

Що стосується сучасного нашого календаря, то його першоосновою був юліанський календар. Ще в давнім Єгипті знали приблизну тривалість тропічного року. Давньоєгипетський календар складав 365 діб. Але фактична тривалість тропічного року 365,2422 доби. І з часом початок року зміщувався. Щоб усунути цю розбіжність Юлій Цезар (100 – 44 р.р. до н.е.), ввів новий календар з 1 січня 45 р. до н.е., який на його честь має назву юліанського. У цьому календарі три з кожних чотирьох років мали по 365 діб, четвертий – 366 діб. Це означає, що в середньому за 4 роки тривалість юліанського календарного року дорівнює 365,25 доби, тим часом як у тропічному році налічується 365,2422 доби. І хоча різниця тут невелика, однак за кожні 128 років набігала ціла доба, тому всі астрономічні явища в юліанському календарі через кожні 128 років зсувались на більш ранні дати. Це особливо впливало на добу святкування

Паски, яку на Нікейському церковному соборі (325 р.) визначили у першу неділю після повені, яка настає після весняного рівнодення.

З часом згадані недоліки юліанського календаря стали дуже помітними. Тому папа Григорій XIII провів реформу календаря. Оскільки до середини XVI ст. дата весняного рівнодення змістилась на 10 діб і випадала вже на 11 березня, то, щоб повернути її на 21 березня, з лічби днів вилучили 10 діб (після 4 жовтня 1582 р. настало не 5, а 15 жовтня). Щоб надалі такої помилки не було, з кожних 400 років вилучають 3 доби, тобто ті столітні роки, число сотень яких не ділиться без остачі на 4, прийнято вважати *простими*, у них повинно бути 365. Роки тривалістю в 366 днів називають *високосними*.

Цей виправлений календар отримав назву *григоріанського* або *нового стилю*, за юліанським календарем закріпилась назва *старого стилю*.

У практичній діяльності люди не могли обходитися без ери – системи лічби років, *літочислення*. У далекому минулому кожне плем'я мало свою власну календарну систему і свою еру. В одних місцях лічбу років вели від певної реальної події (скажемо, від приходу до влади того чи іншого правителя, від спустошливої війни чи стихійного лиха), в інших – від міфічної події, пов'язаної іноді з релігійними уявленнями людей.

Епоха – початкова точка відліку років у тій чи іншій ері. *Ера* – це вся сукупність років, яка минули від початку їх відліку.

Відомо декілька сотень ер, якими користувалися народи. З найвідоміших є літочислення від перших Олімпійських ігор, які відбулись у 776 р. до н.е.; від заснування Риму, що нібито сталося у 753 р. до н.е.

Вважають, що слово ера походить від лат. Aera – число. Є й інша версія, за якою ця абревіатура перших літер фрази *ab exordio regni Augusti* – "від початку царювання Августа", римського імператора Августа Октавіана, яке тривало з 27 р. до н.е. по 14 р. н.е. (літочислення насправді вели від обрання його консулом у 44 р. до н.е.).

Ми користуємося ерою від Різдва Христова. Її ввів у 525 р. римський монах, папський архіваріус Діонісій Малий, який складав нові таблиці дат Паски.

Події давно минулих років і століть упорядковані в єдину всесвітню історію завдяки *хронології*. Завдання хронології є якраз вивчення усіх форм і методів лічби часу, зіставлення і визначення точних дат історичних подій та документів.

Запитання для самоперевірки

1. Що таке зоряний час?
2. Що таке істинний сонячний 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, середньоєвропейського, поясного, декретного часу.
9. На яких меридіанах (розташованих до сходу або до заходу) час більший, менший?
10. Що таке демаркаційна лінія і де вона проходить?

7.9 Практична частина

Приклади розв'язання задач

Переведення середнього сонячного часу в істинний сонячний час та навпаки

Для переведення середнього часу в істинний та навпаки використовують співвідношення

$$T_{сер} = t_o + \eta + 12^h; \tag{7.19}$$

де

$T_{сер}$ – середній час, t_o – годинний кут Сонця (істинний сонячний час), η – 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 η 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 липня 1982 р.

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

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

Приклад 2. Визначити істинний сонячний час, який відповідає середньому часу $T_{cep} = 5^h\,17^m\,12^s$ 11 листопада 1982 р.

Розв'язання. З наведеної формули (7.19) визначаємо

$$T_o = T_{cep} - 12^h - \eta. \tag{7.20}$$

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:

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

Переведення часу з одного меридіана на інший

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

$$T_\lambda = T_o + \lambda, \tag{7.21}$$

де

T_λ – середній місцевий час даного пункту,

T_o – всесвітній час (середній час на меридіані Гринвіча),

λ – довгота географічного пункту, яка виражена в годинній мірі.

При цьому слід пам'ятати, що східна довгота λ_E вважається додатною, а західна λ_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_λ на метеорологічній станції, довгота якої $\lambda_E = 94°57'45''$ у момент, коли в Гринвічі середній час $T_o = 23^h 15^m 40^s$ (20 жовтня).

Розв'язання. Виразимо довготу пункту в одиницях часу:

$$94°57'\,45'' = 6^h\,19^m\,51^s.$$

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

$$T_o = 23^h\,15^m\,40^s \qquad (20\ жовтня)$$

$$+$$

$$\lambda_w = 6^h\,19^m\,51^s$$

$$T_\lambda = 29^h\,35^m 31^s \qquad (20\ жовтня)$$

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

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

Приклад 4. Визначити середній місцевий час T_λ пункту А, довгота якого $\lambda_W = 147°16'30''$, в момент, коли в Гринвічі середній час $T_0 = 2^h 15^m 26^s$ (15 травня).

Розв'язання. 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:

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

$$-$$

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

$$T_\lambda = 16^h\,26^m\,20^s \qquad (14\ травня)$$

Переведення поясного і декретного часу в середній сонячний або істинний сонячний час та навпаки

Середній час на меридіані Гринвіча T_O (всесвітній час) це також і поясний час нульового поясу. Пояс, який лежить на схід від Гринвіча, 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 $15°$ Якщо при діленні остача виявиться меншою ніж $7{,}5°$, тоді частка береться за номер поясу.

Наприклад, $\lambda = 125°$, тоді номер поясу $n = 125° : 15° = 8$ (і $5°$ 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 $130°:15° = 8$ (і в остачі 10°).

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 (рис. 7.4).

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

$$T_n = T_o + n. \tag{7.22}$$

Підставляючи в (7.22) значення T_o з (7.21), дістанемо

$$T_n = T_\lambda - \lambda + n \tag{7.23}$$

або

$$T_\lambda = T_n + \lambda - n\,. \tag{7.24}$$

<u>Приклад 5.</u> Визначити поясний час T_n в Єкатеринбурзі, довгота якого $\lambda = 60°36'$, в момент, коли у Гринвічі середній час $T_o = 13^h 45^m$ (28 лютого).

<u>Розв'язання.</u> Розрахуємо номер годинного поясу для Єкатеринбурга $60°36':15° = 4$ (остача $0°36'$) і застосуємо формулу (7.22), де номер поясу представлений у годинах.

Оскільки Єкатеринбург розташований на схід від Гринвіча, дістанемо

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

<u>Приклад 6.</u> Визначити місцевий час T_λ метеорологічної станції **А** в момент, коли поясний час на ній $T_n = 14^h 42^m 23^s$ (17 травня). Довгота станції $\lambda_E = 94°57'45''$.

Тут можливі два варіанти розв'язання:

<u>І–й варіант.</u> Визначимо номер поясу n, в якому розташована метеорологічна станція А, і переведемо довготу станції у годинну міру:

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

$$94°\,57'\,45'' = 6^h\,19^m\,51^s.$$

З (7.24) дістанемо:

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

<u>ІІ–й варіант.</u> Поясний час – це місцевий час основного (або центрального) меридіана даного часового поясу, а довгота центрального меридіана 6–го поясу, в якому знаходиться станція, дорівнює $15° \times 6 = 90°$, тоді поясний час на станції відповідає місцевому часу на меридіані $90°$. Станція має довготу $\lambda_E = 94°57'45''$, тобто лежить на схід від центрального меридіана на $4°57'45''$ або на $19^m\,51^s$.

Перетворивши (7.24), дістанемо

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

Таким чином,

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

<u>Приклад 7</u>. На метеорологічній станції A з довготою $\lambda_E = 120^0$ визначити, яким моментам поясного декретного часу буде відповідати московський час, який дорівнює 3, 9 та 15 годинам.

<u>Розв’язання.</u> 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.

Розв’язання задач на знаходження моментів сходу та заходу Сонця та тривалості дня

<u>Приклад 8.</u> Знаходження моментів сходу та заходу Сонця і тривалості дня.

Для визначення істинного сонячного часу *видимого* сходу і заходу Сонця використовують формулу косинусів (5.1). З врахуванням того, що висота Сонця в момент сходу (заходу) $h_\Theta = -51'$ 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 $T_\odot = t_\odot + 12^h$. Місцевий середній час можна визначити з врахуванням η :

$$T_{сходу} = 12^h - t_\odot + \eta, \tag{7.27}$$

$$T_{заходу} = 12^h + t_\odot + \eta. \tag{7.28}$$

Так, наприклад, для широти Харкова (φ = 50º пн.ш.) в день літнього сонцестояння (δ = 23º27′) час видимого сходу (заходу) Сонця визначимо через його годинний кут, скориставшись формулою (7.31):

$$\cos t_\odot = \frac{-\sin 51' - \sin\varphi\sin\delta_\odot}{\cos\varphi\cos\delta_\odot} = -\frac{\sin 51' + \sin 50°\sin 23°27'}{\cos 50°\cos 23°27'} =$$

$$= -\frac{0.0146 + 0.7660\cdot 0.3980}{0.6428\cdot 0.9174} = -\frac{0.3195}{0.5897} = -0.5418.$$

Оскільки згідно з тригонометричними формулами зведення $-\cos t_\odot = \cos\left(180 \pm t_\odot\right)$, то годинний кут $t_\odot = 180° - 57°12' = \pm 122°48'$, 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:

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

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

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

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) $h_\Theta = 0°$. 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:

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

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

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

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 $h_\Theta = 0^o$. Тоді

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

За додатком 5 ?? 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.

Приклад 9. Розрахунок тривалості громадянських та астрономічних присмерків.

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

$$\cos\left(t_{\odot}+\Delta t\right)=\frac{\sin h_{\odot}-\sin\varphi\cdot\sin\delta_{\odot}}{\cos\varphi\cdot\cos\delta_{\odot}}, \qquad (7.32)$$

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

Приклади розв'язання задач

Задача № 1. Знайти тривалість присмерків на географічній широті $\varphi=45°$ у день літнього сонцестояння ($\delta_{\odot}=+23°27'$).

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

$$\cos t_{\odot}=\frac{\cos 90°50'-\sin\varphi\sin\delta_{\odot}}{\cos\varphi\cos\delta_{\odot}}=\frac{\cos 90°50'-\sin 45°\sin 23°27'}{\cos 45°\cos 23°27'}=$$

$$=\frac{-0.01483-0.70711\cdot 0.39795}{0.70711\cdot 0.91741}=\frac{-0.29622}{0.64871}=-0.45663$$

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

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

$$T_{сходу} = 12^h - t_\odot + \eta = 12^h - 7^h 48^m 40^s.8 + 1^m 30^s.2 = 4^h 12^m 49^s.4$$

$$T_{заходу} = 12^h + t_\odot + \eta = 12^h + 7^h 48^m 40^s.8 + 1^m 30^s.2 = 19^h 50^m 11^s$$

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

$$\cos\left(t_\odot + \Delta t\right) = \frac{\sin h_\odot - \sin\varphi \cdot \sin\delta_\odot}{\cos\varphi \cdot \cos\delta_\odot} = \frac{\sin\left(-6^\circ\right) - \sin 45^\circ \sin 23^\circ 27'}{\cos 45^\circ \cdot \cos 23^\circ 27'} =$$

$$= \frac{-0.10453 - 0.70711 \cdot 0.39795}{0.70711 \cdot 0.91741} = \frac{-0.38592}{-0.64871} = -0.59490$$

$$t_\odot + \Delta t = 126^\circ 30'.3 = \pm 8^h 26^m 1^s.2$$

Знайдемо місцевий середній сонячний час початку та закінчення громадянських присмерків:

$$T_{сходу} = 12^h - t_\odot + \eta = 12^h - 8^h 26^m 1^s.2 + 1^m 30^s.2 = 3^h 35^m 29^s;$$

$$T_{закінчення} = 12^h + t_\odot + \eta = 12^h + 8^h 26^m 1^s.2 + 1^m 30^s.2 = 20^h 27^m 31^s.4.$$

Тривалість громадянських присмерків становить:

$$\Delta t = 8^h 26^m 1^s.2 - 7^h 48^m 40^s.8 = 0^h 37^m 20^s.4$$

Задача № 2.

Знайти тривалість присмерків на географічній широті $\varphi = 60^\circ 34'$ у день літнього сонцестояння ($\delta_\odot = 23^\circ 27'$).

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

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

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.

$$\delta_{\odot} \geq 90° - \varphi - 6°\text{, тобто } \delta_{\odot} \geq 84° - \varphi .$$

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

$$\delta_{\odot} \geq 90° - \varphi - 18°\text{, тобто } \delta_{\odot} \geq 72° - \varphi .$$

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

Переведення середнього сонячного часу в
істинний сонячний та навпаки

1. Визначити середній сонячний час $T_{сер}$, який відповідає моменту істинного сонячного часу $t_o = 8^h 36^m$ (26 липня 1986 р.).

Відповідь: $T_{сер} = 20^h 42^m$ (26.07.1986 р.).

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

$T_{сер} = 18^h 24^m$ (17 травня 1986 р.).

Відповідь: $t_o = 6^h 28^m$.

Переведення часу з одного меридіана на інший

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

Визначити всесвітній час T_o в даний момент.

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

2. У Новосибірську, довгота якого $\lambda_{E1} = 82°51'$, $T_{\lambda 1} = 3^h 10^m 16^s$ (05 вересня).

Визначити відповідне йому $T_{\lambda 2}$ в Одесі, довгота якої $\lambda_{E2} = 30°45'$

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

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

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

3. Істинний сонячний час в Гринвічі (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: $37°34'15''$.

Переведення поясного часу в середній або істинний сонячний 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_λ в Ташкенті, довгота якого $\lambda_E = 69°18'$, 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 $\lambda_E = 76°57'$, 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 $\lambda_E = 50°06'$. 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.

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. Врублевська О.О., Катеруша Г.П., Гордейчук О.П. Методичні вказівки з дисципліни „Астрономія”. Одеса: ОДЕКУ, 2000.
8. Кузьменков С. Г., Сокол І. В. Сонячна система: збірник задач: навчальний посібник. - Київ: Вища школа, 2007. – 168 с.
9. Fraknoi A., D. Morrison (2016) Astronomy (The Textbook). Edition: 1st. Publisher: OpenStax. Editor: Kerry Ceszyk. ISBN: 978-1-938168-28-4
10. Kovalevsky Jean (2012) Fundamentals of Astrometry 1st Edition. Cambridge University Press; 1st edition, 2012, 422 p. ISBN-10:0521173310
11. https://openstax.org/books/astronomy/pages/1-introduction

Навчальне видання

Врублевська Олександра Олександрівна
Катеруша Галина Павлівна
Хоменко Інна Анатоліївна

АСТРОНОМІЯ

Конспект лекцій

Підп. до друку Формат 60x84/16 Папір офс.
Умовн. друк. арк. Тираж Зам. №
Надруковано з готового оригінал–макета

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

Підприємство "ТЭС", (0482)-42-90-98