

С. М. Білокриницький

ГЕОДЕЗИЧНА АСТРОНОМІЯ



Міністерство освіти і науки України
Чернівецький національний університет
імені Юрія Федьковича

С. М. Білокриницький

ГЕОДЕЗИЧНА АСТРОНОМІЯ

Навчальний посібник



Чернівці

Чернівецький національний університет
імені Юрія Федьковича
2023

**УДК 528.28 (075.8)
Б 613**

*Друкується за ухвалою вченої ради
Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича
(протокол № 2 від 27 лютого 2023 року)*

Рецензенти:

Перович І.Л., доктор технічних наук, професор
(Західноукраїнський національний університет);

Корбутяк В.М., кандидат технічних наук, доцент
(Національний університет водного господарства
та природокористування)

Білокриницький С. М.

Б 613 Геодезична астрономія : навч. посіб. Чернівці : Чернівецький національний університет імені Ю. Федьковича, 2023. – 208 с.

ISBN 978-966-423-771-7

Розглядаються теоретичні положення визначення істинного азимута астрономічним способом, системи координат, що застосовуються в астрономії, вимірювання часу в астрономії та способи визначення астрономічних азимутів. На практичних прикладах показано порядок спостережень і обчислень при визначенні азимута за висотою і годинним кутом Сонця, за годинним кутом Полярної і за висотами яскравих зірок з різною точністю.

Для студентів спеціальності “Геодезія”, а також усіх спеціалістів, які працюють у цій галузі.

УДК 528.28(075.8)

ISBN 978-966-423-771-7

© С. М. Білокриницький, 2023

© Чернівецький національний університет,
імені Юрія Федьковича, 2023

ЗМІСТ

Вступ	5
1. Предмет астрономії. Виникнення і основні етапи розвитку астрономії	5
2. Розділи астрономії	10
3. Зв'язок астрономії з іншими науками	16
4. Короткий нарис сучасних поглядів на будову Всесвіту	19
I. Визначення істинного азимута астрономічним способом	25
1. Астрономічний азимут і його призначення	25
2. Сутність визначення астрономічного азимута	26
3. Небесна сфера	27
4. Основні точки і лінії небесної сфери	30
5. Сферичні координати	34
6. Горизонтна система координат	36
7. Перша екваторіальна система координат	39
8. Друга екваторіальна система координат	42
9. Еклектична система координат	43
10. Поняття про координати точок земної поверхні	45
11. Зв'язок між першою і другою екваторіальними системами	48
12. Зв'язок між географічною і небесними системами сферичних координат	50
13. Паралактичний трикутник, зв'язок між різними системами координат	52
II. Добове обертання небесної сфери	55
1. Добовий рух світил	55
2. Кульмінація світил	62
3. Схід і захід світил	64
4. Проходження світил через перший вертикал	65
5. Елонгація світил	67
6. Ефемериди Полярної зірки	69
7. Диференціальні зміни зенітних відстаней і азимутів в астрономії	72

III. Вимірювання часу	77
1. Загальні поняття про вимірювання часу в астрономії	77
2. Зоряний час	80
3. Істинний сонячний час	83
4. Середній сонячний час	86
5. Вимірювання часу на різних меридіанах	90
6. Перехід від зоряного часу до середнього сонячного і навпаки	94
7. Поясний і декретний час	105
8. Нерівномірність обертання Землі	107
9. Ефемеридний час	110
10. Астрономічний щорічник	116
11. Зв'язок істинного сонячного часу з середнім	117
12. Календар	120
13. Хронометр і годинники	124
14. Визначення поправки і перевірки годинників	126
15. Зоряне небо	129
IV. Визначення астрономічних азимутів	134
1. Загальні відомості про способи визначення астрономічного азимута	134
2. Визначення азимута за висотою Сонця	137
3. Визначення азимута за висотами яскравих зірок	149
4. Визначення азимута за годинним кутом Полярної	154
4.1. Наближене визначення азимута	154
4.2. Визначення азимута за годинним кутом Полярної зірки з точністю $\pm 10-15''$	164
5. Визначення азимута за годинним кутом Сонця	170
Тестові завдання	175
Глосарій	198
Список літератури	206

ВСТУП

1. Предмет астрономії. Виникнення і основні етапи розвитку астрономії

Астрономія – наука про небесні світила, про їх взаємне розташування у просторі, про їх поступальний і обертальний рух, про причини цього руху, про фізичний і хімічний склад небесних тіл, про походження і розвиток всесвіту.

Слово «астрономія» походить від грецьких – «астрон» – світило і «номос» – закон.

Отже, астрономія – одна з природничих наук. Перші астрономічні спостереження сягають глибокої давнини, коли людина була близькою до природи і спостерігала за тими небесними явищами, з якими було пов'язане його повсякденне життя. Чергування сходу і заходу Сонця, щорічні зміни в положенні Сонця по відношенню до горизонту і тісно пов'язані з цим зміни пори року, що впливало на життя людини, на господарські і землеробські роботи, не могли не привернути до себе увагу людини. До небесних явищ, відомих з часів глибокої давнини, відносять також періодичні зміни вигляду Місяця, тобто місячні фази.

Спостереження за сходом і заходом Сонця привели людину до встановлення основної одиниці вимірювання часу – доби, а спостереження над змінами фаз Місяця слугували для встановлення більш довгої одиниці часу – місяця, як проміжку часу між двома послідовними однойменними фазами. Спостереження за періодичними змінами положення Сонця по відношенню до горизонту були використані для введення ще більш значної одиниці часу – року. Зрозуміло, що точність астрономічних спостережень, які здійснювалися спочатку без приладів, була дуже низькою, і встановлені давніми народами одиниці часу далекі

від сучасних. Проте вони цілком задовольняли практичні потреби того часу.

Давні народи займалися також спостереженнями зірок, але й тут основна увага приділялася явищам, які так чи інакше впливали на їх життя. Так, давніми єгиптянами було підмічено, що початок повені річки Ніл, яка мала велике значення для землеробства Єгипту, відбувався безпосередньо з першою появою зірки Сиріус у променях Сонця, що сходить. Єгипетські жерці повинні були уважно стежити за появою Сиріуса й сповіщати про це населення Єгипту.

Вивчення зоряного неба, сузір'їв було необхідно також для пересувань по поверхні Землі, на суші і на морі. Кочові племена первісного суспільства орієнтувалися вдень – за Сонцем, уночі – за зірками.

До небесних явищ, які привертали до себе увагу давніх спостерігачів, належать сонячні і місячні затемнення. І хоча довгий час вони наганяли на давні народи страх, із часом спостереження затемнень змусили працювати думку людини і сприяли її розвитку.

Отже, ми бачимо, що астрономія як наука виникла і розвивалася у зв'язку з практичними потребами людства. До астрономічних спостережень людину спонукала не тільки зацікавленість, але й необхідність орієнтуватися в часі і в просторі.

Астрономічні спостереження давніх народів мали велике практичне значення для їх життя і сприяли культурному розвитку людства.

З розвитком виробничих сил суспільства перед астрономією поставали все нові й нові задачі, для розв'язання яких були потрібні більш точні способи спостережень. Поступово почали створюватися прилади для спостережень небесних світил і розвиватися методи математичної обробки отриманих результатів.

У давнину найбільшого розвитку астрономія досягла в Греції, Єгипті і Індії.

Перші зоряні каталоги були створені давньогрецькими астрономами. Їм належить заслуга відкриття рефракції, прецесії, паралакса Місяця. Перші спроби визначити розміри Землі, відстані від Землі до Місяця і до Сонця також були зроблені грецькими астрономами. Геоцентрична система світу, побудована Птоломеем, хоча й була принципово неправильною, але все ж дозволяла передбачувати наближене положення планет на небесному зводі і протягом кількох століть використовувалася астрономами.

Значних успіхів астрономія досягла у давньому Китаї. Уже в II столітті до Р.Х. китайські астрономи настільки добре вивчили видимий рух Місяця і Сонця, що могли передбачати коли відбудуться сонячні та місячні затемнення.

Розвиток феодалізму в середні століття привів до занепаду природничих наук у Європі, і подальший розвитку астрономії загальмувався на кілька століть.

З виникненням і розвитком капіталізму в Європі почався період розквіту природничих наук. Розвиток торгівлі і мореплавства з одного боку і виробничих сил суспільства – з іншого спричинили революцію в астрономії, яку здійснив великий польський вчений Микола Коперник, створивши у 1563 році геліоцентричну систему світу.

Спираючись на вчення Коперника, Кеплер (1609 – 1619 рр.) відкрив закони руху планет навколо Сонця, аналізуючи які Ньютон (1687 р.) встановив закон всесвітнього тяжіння. Були відкриті явища аерації і нутації, почалося вивчення паралаксів Сонця і зірок, розроблені теорії прецесії і рефракції.

У Росії з кінця XVIII ст. почали визначати астрономічними методами широти і довготи міст. У цій роботі брали участь Я.В. Брюс, Петро I, Л.Ф. Магницький, А.Д. Красильников, М.В. Ломоносов, С.Я. Румовський та інші вчені.

До початку XIX ст. за допомогою астрономічних спостережень були визначені широти і довготи більш як 300 міст.

Під керівництвом видатних астрономів і геодезистів В.Я. Струве і К.І. Теннера у 1846 р. була почата і в 1852 р. закінчена робота по вимірюванню дуги меридіану протяжністю у $26^{\circ}20'$, від берегів Північного Льодовитого океану до гирла Дунаю.

На протяжності цієї дуги з великою точністю було визначено 13 астрономічних пунктів.

У 1839 р. в історії астрономії відбулася велика подія – відкриття Головної астрономічної обсерваторії в Пулкові. Директором Пулковської обсерваторії був призначений В.Я. Струве. Роботи пулковських астрономів В.Я. Струве, Н.Я. Цингера, В.К. Деленна, Д.Д. Геденова, М.В. Певцова, Н.Д. Павлова та інших відіграли велике значення у розвитку астрономії і стали суттєвим внеском у скарбницю наших знань про всесвіт.

Відкриття в середині XIX ст. спектрального аналізу і застосування фотографії в астрономії дали можливість астрономам вивчати фізичні властивості та хімічний склад небесних тіл. Виникла і почала швидко розвиватися астрофізика.

У 40-х роках XX ст. в астрономії почали застосовувати радіофізичні методи дослідження. З'явилася нова галузь – радіоастрономія, завданням якої є вивчення радіовипромінювання небесних тіл і міжзоряної середовища. Завоювання космосу розширило межі нашого пізнання і дозволило більш глибоко досліджувати всесвіт. Результати спостережень штучних супутників землі використовується для розв'язання багатьох важливих наукових проблем, в тому числі для визначення форми і розмірів Землі, для вивчення її гравітаційного поля та для визначення координат точок земної поверхні.

Розвиток нових методів астрономічних досліджень привів до того, що астрономія з науки суто спостережуваної перетворилася в той же час в науку експериментальну.

Першу в Україні астрономічну обсерваторію засновано у 1821 р. адміралом А.С. Грейсом. Обсерваторію збудовано в Миколаєві. Основне її призначення – обслуговувати Чорноморський флот. Другою в Україні була обсерваторія Київського університету, будівництво якої завершили 1845 р. Потім було відкрито обсерваторію в Одесі (1871 р.) та Харькові (1888 р.). У 1900 р. почала діяти обсерваторія Львівського університету. У Сімеїзі (Крим) з 1908 року функціонує астрофізичний відділ Пулковської обсерваторії, який у радянські часи входив до складу Кримської астрофізичної обсерваторії АН СРСР. У 1926 році в Полтаві відкрито гравіметричну обсерваторію, основним завданням якої було вивчення рухів земних полюсів і припливів у земній корі. В 1945 році в Голосієві, під Києвом, уведено в дію астрофізичну обсерваторію АН УРСР.

Значні астрономічні роботи виконали в Україні І.Є. Кортаці, Б.П. Остапенко-Кудрявцев, Л.І. Семенов (Миколаїв), В.І. Фабріціус, М.П. Диченко (Київ), М.В. Ціммерман, Б.В. Новопащенко (Одеса), Г.В. Левицький, Л.О. Струве, М.М. Євдокимов (Харьків), О.Я. Орлов, Є.П. Федоров (Полтава). М.Ф. Хандриков був визначним організатором Київської школи теоретичної астрономії. Важливі дослідження виконав у Києві А.О. Яковкін. У галузі астрофізики значних успіхів досягли С.К. Всехсвятський (Київ), О.К. Кононович, В.П. Цесевич (Одеса), В.Г. Фесенков, М.П. Барабашов (Харьків), Г.М. Неуймін, Г.А. Шайн, Е.Р. Мустель (Крим), Е.В. Рибка, В.Б. Степанов, М.С. Ейгенсон (Львів) та багато інших.

У теперішній час проблеми астрономії в основному стосуються загальних поглядів на будову матерії і Все-

світу, на виникнення, розвиток і подальшу долю як окремих частин, так і Всесвіту в цілому.

2. Розділи астрономії

Сучасна астрономія, з огляду на великий предмет і різноманітність питань, вивченням яких вона займається, поділяється на ряд тісно пов'язаних між собою розділів, а саме:

1. *Сферична астрономія* вивчає взаємне розташування напрямків, за якими небесні світила видно з місця спостереження, і зміну цих напрямків від різних причин.

Але напрямком на світило залежить як від положення світила, так і від положення спостерігача у просторі і задається двома кутами відносно двох взаємно перпендикулярних площин. Тому саме з вивчення систем координат, що використовуються для визначення положення світила і спостерігача у просторі, і починається вивчення курсу сферичної астрономії.

Координати світил є функціями часу. Вивчення різних систем вимірювання часу, що застосовуються в астрономії, і встановлення співвідношення між ними також є задачею сферичної астрономії. Крім того, сферична астрономія займається вивченням і поясненням видимих рухів небесних світил: зірок, Сонця, Місяця, планет і комет; вивченням факторів, які спотворюють координати небесних світил – рефракції, аберації, паралаксу; вивченням факторів, що змінюють положення осі обертання Землі в просторі – прецесії і нутації.

2. *Астрометрія* створює фундамент, на якому розташовуються інші розділи астрономії. Її головним задачами є:

а) побудова фундаментальної системи небесних координат;

б) вивчення обертального руху Землі з метою дослідження нерівномірності її обертання, руху земних полюсів, астрономічного визначення часу і виводу значень деяких астрономічних постійних методами астрометрії;

в) визначення координат зірок, тіл сонячної системи, штучних небесних тіл і інших об'єктів, визначення особистих рухів зірок, вимірювання подвійних і кратних зірок, визначення тригонометричних паралаксів, дослідження фігури Місяця і планет;

г) астрономічна орієнтація в космосі: визначення місцеположення на земній поверхні, в космічному просторі, на Місяці та інших небесних тілах.

Та частина астрометрії, яка займається визначенням географічних координат точок земної поверхні і азимутів напрямків, вивченням теорії і будови інструментів і приладів, що використовуються для цієї цілі, а також удосконаленням методів обробки отриманих результатів, називається *геодезичною астрономією*. При розв'язанні зазначених задач геодезична астрономія використовує результати астрономічних спостережень, що зазначені в пункті в).

3. *Теоретична астрономія* вивчає рух реально існуючих космічних тіл і закони природи, що керують цими рухами.

4. *Небесна механіка* має своїм предметом розв'язання математичних задач, що виникають при застосуванні узагальнених законів природи стосовно космічних об'єктів.

5. *Астрофізика* є найбільшим розділом сучасної астрономії. Вона вивчає будову, фізичні властивості і хімічний склад небесних світил. Астрофізика поділяється на астрофотографію, астроспектрографію, астрофотометрію, теоретичну астрофізику і радіоастрономію.

6. *Зоряна астрономія* вивчає закономірності у розподілі і русі зірок, зоряних систем і міжзоряної матерії, враховуючи при цьому їх фізичні особливості.

7. *Космогонія* займається вивченням питань виникнення і еволюції всесвіту в цілому та її окремих частин.

8. *Космологія* розглядає загальні закономірності будови і розвитку всесвіту і має ціллю наукове передбачення шляхів його подальшого розвитку.

Сукупність досліджуваних астрономією об'єктів складає Всесвіт. Охарактеризуємо деякі з об'єктів.

Земля – тверде, майже кулеподібної форми тіло, оточене атмосферою. Середній радіус 6370 км, середня висота атмосфери над поверхнею Землі 3000 км. Обертається навколо осі, що проходить через її центр, а також навколо Сонця. Відстань від Землі до Сонця, що приблизно дорівнює 150 000 000 км приймається за одиницю вимірювання й називається астрономічною одиницею.

Місяць – тверде кулеподібне тіло, що обертається навколо Землі, природний супутник. Розміри в 4 рази менші за розміри Землі (1738 км). Відстань від Місяця до Землі – 60 радіусів Землі. Зовнішній вигляд Місяця з Землі постійно змінюється внаслідок зміни взаємного розміщення Сонця і Місяця. Це явище називається фазою Місяця.

Планети. Навколо Сонця на різних відстанях обертається 8 твердих кулеподібних як і Земля тіл, які називаються планетами. Планети розміщені ближче, ніж Земля, до Сонця, називаються нижніми (*Меркурій 0.38 а.о., Венера 0.72 а.о.*). Решта планет розміщені далі від Землі й називаються верхніми (*Марс 1.52 а.о., Юпітер 5.2 а.о., Сатурн 9.5 а.о., Уран 19.2 а.о., Нептун 30.1 а.о., Плутон 40 а.о.*).

Меркурій, Венера, Марс за фізичними властивостями близькі до Землі, тому іменуються планетами земної групи. Решта, крім Плутона, що приблизно дорівнює Землі, великі порівняно з нею й утворюють групу планет-гігантів. Усі планети обертаються навколо своєї осі зі швидкостями більшими, ніж у планет земної групи, внаслідок чого їх форма істотно відрізняється від сферичної. Швидкість ру-

ху планет по орбіті тим більша, чим ближче планета до Сонця. За рік Меркурій здійснює 4 оберти, Юпітер – один оберт за 12 років, Плутон – один оберт за 250 років.

Супутники. Більшість планет мають по одному або кілька супутників: Марс – 2, Юпітер – 12, Сатурн – 9, Уран – 5, Нептун – 2, у Плутона поки не знайдено, у Меркурія і Венери супутників немає. Розміри супутників значно менші від розмірів відповідних планет.

Астероїди. Малі планети з неправильною формою. Орбіти астероїдів розміщуються переважно між орбітами Марса та Юпітера, деякі близько підходять до орбіти Венери, а рідше – Сатурна. Діаметр найбільшого – Цербера – 770 км. Відомо понад 1600 астероїдів.

Комети. Навколо Сонця обертаються комети, які являють собою сукупність малих, твердих частинок і газів. Особливістю багатьох комет є «хвіст» – витягнуте утворення, що виходить від основної круглої частини «голови» комети. Маса і густини комет малі в порівнянні з планетами. Орбіти комет зображуються дуже витягнутими еліпсами.

Метеоритні тіла. Навколо Сонця по замкнутих орбітах обертаються також невеликі тверді тіла – метеори. Вони утворюють у просторі цілі потоки й інколи при своєму русі так близько підходять до Землі, що падають на поверхню, а при проходженні через атмосферу метеоритне тіло сильно нагрівається і згоряє. Утворюється явище «падаючої зірки». Деякі тіла досягають поверхні Землі й називаються метеоритами.

Сонце – самосвітне тіло, яке посилає у світовий простір велику кількість променевої енергії. Діаметр 1.4106 км, температура поверхні біля 60 000, у центрі досягає 15 млн град. У надрах Сонця відбуваються ядерні реакції внаслідок високої температури. Сонце обертається навколо осі, що проходить через центр і майже перпендикулярна до

площини орбіти Землі (повний оберт за 25 діб). Напрямок збігається з напрямом обертання планет навколо Сонця.

Сонячна система. Сонце, планети та їх супутники, астероїди, комети і метеорні тіла утворюють єдину систему тіл, динамічно зв'язану силами притягання. Центральне тіло Сонце ($m_c = 1.981030 \text{ кз}$). Сумарна маса всіх тіл сонячної системи складає 0.0013 m_c . Більшість тіл сонячної системи розміщується приблизно в одній площині всередині кола радіусом 50 а.о.

Зорі – самосвітні тіла, подібні до Сонця, розміщені за межами сонячної системи. Найближча до Сонця зірка знаходиться на відстані більше 200 000 а.о. Тому ввели нову одиницю: «світловий рік» – відстань, на яку поширюється світло за один рік (1 св.р. = 63204 а.о. = 9.463109 км). Розміри зір різноманітні: в сотні разів більші й менші від діаметра Сонця. Поверхнева температура лежить у діапазоні від 3000 до 300 000°. У надрах зір температура вимірюється десятками мільйонів градусів. У залежності від поверхневої температури зорі мають різний колір. Найбільш гарячі мають голубуватий колір, менш гарячі – білий, подібний до Сонця, або жовтий і найменш гарячі – оранжевий або червоний. Відношення кількості енергії, яку випромінює зірка, до енергії, випромінюваної Сонцем, називається світністю. Світність зірок лежить у межах від 1/600000 до 1/400000.

Нестаціонарні зорі, у яких блиск, температура, діаметр змінюються з часом. Якщо ця зміна періодична, то зорі називають цефеїдами. Якщо відстань між двома зорями однакова з розмірами сонячної системи, то такі зорі утворюють пару або подвійну зірку. Якщо три і більше, то маємо кратну зірку. Більше половини всіх зір навколо Сонця подвійні або кратні.

Туманності – величезні скупчення газу й пилу у світловому просторі. Розміри різні, вимірюються тисячами і

мільйонами а.о. Деякі туманності мають правильну сферичну форму – планетарні туманності. Густина туманностей дуже мала: 10-23–10-24 г/см³.

Галактика – сукупність туманностей і зірок, до якої належить Сонце, являє собою обмежену систему (150 млрд. зір). Форма Галактики: від центра (сукупність зір сферичної форми) відходять дві гілки (зорі і туманності) спіральної форми, розміщені в одній площині, яка називається галактикою. Вважають, що всі зорі, що входять до складу Галактики, обертаються навколо її геометричного центра. Швидкість руху галактики 250 км/с, і вона здійснює повний оберт (галактичний рік) за 180–200 млн років.

Інші Галактики. Крім нашої Галактики, існують приблизно 1010. Сукупність усіх відомих галактик називають Метагалактикою.

Основою для астрономічних досліджень є спостереження як самих космічних тіл або об'єктів (зірки, планети, Місяць), так і пов'язаних із ними явищ (схід, захід світил, затемнення Сонця і Місяця, фази Місяця або планет). У більшості випадків астрономічні спостереження потребують ретельних вимірювань кутів, моментів часу, світлових потоків та інших даних. Обробка результатів спостережень нерідко потребує кропітких розрахунків, що дозволяє отримати ті чи інші дані про природу досліджуваних тіл і створених ними систем.

До середини ХХ століття спостереження були єдиними джерелами знань (за винятком можливості дослідження хімічного складу метеоритів, що впали на Землю, і енергії первинних космічних променів). Однак перший штучний супутник Землі, запущений у 1957 р., відкрив нову еру космічних досліджень, що дозволило використовувати більш активні методи астрономічних досліджень з міжпла-

нетних станцій, орбітальних обсерваторій і навіть з поверхні Місяця та інших планет.

В астрономії інформація в основному отримується внаслідок виявлення та аналізу видимого світла, а також інших спектрів електромагнітного випромінювання в космосі.

3. Зв'язок астрономії з іншими науками

Астрономія як одна з природничих наук тісно пов'язана з іншими природничими науками. При цьому, з одного боку, астрономія широко використовує досягнення цих наук, з іншого – дані астрономії використовуються ними.

Деякі розділи астрономії тісно зв'язані з науками про Землю: геофізикою, геологією, картографією, геодезією. Найбільший зв'язок з геодезією і картографією має геодезична астрономія.

Астрономічні визначення відіграють важливу роль при виконанні геодезичних робіт. Спільно з геодезичними і гравіметричними даними астрономічні визначення на пунктах ДГМ використовуються для встановлення форми і розмірів Землі, а також для вибору референц-еліпсоїда, який використовується для обробки результатів геодезичних вимірів.

З астрономічних спостережень визначаються вихідні геодезичні дані ДГМ, тобто географічні широта й довгота вихідного пункту триангуляції та астрономічний азимут початкового напрямку ДГМ для орієнтування референц-еліпсоїда в тілі Землі.

Для правильного орієнтування геодезичної мережі і контролю кутових вимірювань на пунктах ДГМ визначаються астрономічні азимути.

Астрономічні спостереження відіграють важливу роль при виконанні астрономо-гравіметричного нівелювання,

метою якого є визначення перевищень точок земної поверхні відносно поверхні референц-еліпсоїда.

Точка земної поверхні, географічні координати якої, тобто широта і довгота, визначені за допомогою астрономічних спостережень, називається астрономічним пунктом. Астрономічні пункти можуть слугувати опорними пунктами при дрібномасштабних зйомках у важкодоступних районах.

Цілий ряд важливих проблем сучасної фізики пов'язаний із вивченням матерії у світовому просторі: наприклад, дослідження космічних променів, дослідження радіовипромінювання Сонця та інших небесних тіл, проблема джерел енергії Сонця і зірок. Виділення атомної енергії було вперше виявлено в результаті досліджень джерел випромінювання Сонця і зірок. Правильність висновків однієї з важливіших теорій сучасної фізики – загальної теорії відносності Енштейна – вдалося перевірити і підтвердити за допомогою астрономічних спостережень.

Закони руху небесних світил використовуються навіть такими науками, як археологія і історія. Оскільки багато давніх храмів і пірамід при їх побудові орієнтувались по Сонцю і зірках, то вивчення складних рухів небесних тіл надає можливість визначати дату їх побудови. В літописах при описанні тієї чи іншої історичної події часто згадувалося, що в рік цієї події було сонячне або місячне затемнення, появилася яскрава комета, або мало місце інше цікаве небесне явище. За цими даними астрономи доволі точно визначали дату, що описувалася в літописах історичних подій.

Важливою практичною задачею астрономії є складання календаря, який широко використовується у науковій хронології і в повсякденному житті людей. В основі складання календарю лежать видимі добовий і річний рухи Сонця серед зірок, що є відображенням дійсного руху Землі.

Велике практичне значення має також розробка астрономічних методів орієнтування. Поруч з іншими методами вони використовуються у мореплаванні, повітроплаванні, а також в космонавтиці.

Ще Колумб, знаючи недостатні можливості компасу в правильному показі напрямку, говорив, що існує лише одне безпомилкове корабельне числення – це астрономічне. Особливо велике значення набувають астрономічні методи орієнтування в умовах північних широт. Астрономічні визначення використовуються при розвідці покладів корисних копалин за допомогою сил тяжіння у різних точках земної поверхні.

Однією з важливих задач астрономії є визначення часу. Визначенням точного часу займаються спеціальні лабораторії «Служби часу». Сучасні «Служби часу» передачу точного часу здійснюють у системі рівномірного атомного часу. *Атомним часом* називається час, в основу вимірювання якого покладені електромагнітні коливання, що випромінюються або поглинаються атомами або молекулами декотрих речовин при переході з одного визначеного енергетичного стану до іншого. «Служби часу» вивчають оберти Землі і визначають поправки за розходження «зоряної» і «атомної» шкал часу. «Зоряна» шкала часу, що визначається обертанням Землі, використовується в навігації і геодезії.

Необхідно також зазначити загальноосвітнє значення астрономії. Пояснення різних явищ, що спостерігаються на зоряному небі, будова і рух зоряних систем, еволюція всесвіту і т. ін. – всі ці питання дуже цікаві, і хоча б загальне знайомство з ними необхідне кожній людині.

4. Короткий нарис сучасних поглядів на будову Всесвіту

Сонячною системою називається система космічних тіл, яка складається з центрального тіла – Сонця, що є динамічним центром всієї системи, дев'яти відомих нам великих планет (Меркурія, Венери, Землі, Марса, Юпітера, Сатурна, Урана, Нептуна і Плутона) та їх супутників (відомо 31 супутник), приблизно 2000 відомих малих планет або астероїдів, більше 500 відомих комет і чимало дрібних космічних тіл (метеорів).

У дійсності кількість комет, що входить до сонячної системи, і дрібних планет значно більше, ніж нам відомо сьогодні. Вчені передбачають, що кількість комет сягає понад 100 тисяч, а дрібних планет 50-100 тисяч. Можливо існують більш далекі великі планети, ніж Плутон.

Сонце являє собою величезний газовий шар, що світиться, температура якого на поверхні біля 6000 градусів, а в напрямку до центру швидко збільшується до 13 млн градусів. За останніми даними, отриманими при радіолокації планет, середня відстань Землі від Сонця дорівнює $149600 \cdot 10^3 \pm 2000$ км. Вона приймається за астрономічну одиницю довжини при вимірювання відстаней у межах Сонячної системи. Для більш наочного уявлення про цю відстань можна підмітити, що світло, що розповсюджується зі швидкістю 299 792,5 км/с, проходить цю відстань за 8 хв 18 с. Звук, швидкість розповсюдження якого 330 м/с, пройшов би цю відстань за 14 років, а космічний корабель, що рухається зі швидкістю 8 км/с – за 7 місяців.

Діаметр Сонця дорівнює $1390 \cdot 10^3$ км, тобто у 109 разів більше діаметра Землі. Таким чином, об'єм Сонця приблизно в $13 \cdot 10^5$ разів більше об'єму Землі і майже в 1000 разів більше об'єму самої великої планети – Юпітера. Маса Сонця в $333 \cdot 10^3$ разів більше маси Землі та в 745 разів більше маси

всіх планет разом узятих. Звідси випливає, що 99,86% маси всієї сонячної системи зосереджено в Сонці і тільки 0,14% припадає на планети, комети, супутники планет і т. ін.

Середня щільність Сонця складає 0,255 середньої щільності Землі. Прискорення сили тяжіння на поверхні Сонця дорівнює 275 м/с^2 , тобто воно в 28 разів більше ніж на Землі.

Великі планети можна поділити на дві групи: планети «земної групи» і планети-гіганти. До планет першої групи належать Меркурій, Венера, Земля і Марс. Вчені передбачають, що до цієї ж групи відносять і Плутон. Маси і розміри цих планет порівняно невеликі, проте вони мають великі щільності і тверді поверхні. Планети «земної групи» порівняно повільно обертаються навколо своїх осей і оточені не дуже щільною атмосферою.

До планет-гігантів належать Юпітер, Сатурн, Уран і Нептун. Вони відрізняються великими розмірами, малою щільністю, швидким обертанням навколо своїх осей. Більшість планет обох груп має полярне стиснення, як і Земля. Найбільше полярне стиснення має Сатурн.

Єдиний супутник Землі – Місяць. Ніякий інший супутник в сонячній системі не має такої великої величини в порівнянні зі своєю планетою. Діаметр Місяця дорівнює 3476 км, тобто $\frac{1}{37}$ земного діаметра, об'єм $\frac{1}{49}$ об'єму Землі, а маса $\frac{1}{81}$ маси Землі. Середня щільність Місяця дорівнює 3,33 щільності води. Сила тяжіння на Місяці приблизно в 6 разів менша, ніж на Землі. Місяць завершує свій оберт навколо Землі за 27, 33 доби, з таким же періодом він обертається навколо своєї осі. Це означає, що Місяць повернутий до нас завжди однією і тією ж півкулею. Середня відстань Місяця від Землі становить 384 000 км, тобто це приблизно 60 радіусів Землі.

Закони руху планет навколо Сонця для взаємного обертання двох тіл, були встановлені Йоганом Кеплером (1600 – 1619 рр.) Вони виведені з передбачення того, що планети знаходяться під впливом притягнення тільки Сонця, притягнення ж інших тіл сонячної системи відсутнє. Але до сьогодні закони Кеплера не втратили свого значення. Вони формулюються так.

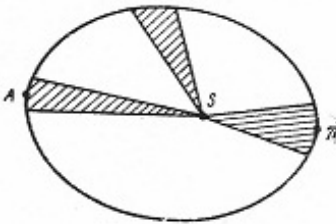
Перший закон. Орбітою будь-якої планети є еліпс, в одному з фокусів якого знаходиться Сонце.

Другий закон. Радіус-вектор планети в однаковий час описує однакові площі.

Третій закон. Квадрати зоряного часу обертання планет навколо Сонця пропорційні кубам великих півосей їх орбіт.

Перші два закони Кеплера ілюструє рис. 1. У фокусі еліптичної орбіти планети, точці S знаходиться Сонце. Точка π , в котрій планета буває найближче до Сонця, називається перигелієм, діаметрально протилежна їй точка A – афелієм. Середнє між найменшою і найбільшою відстанями планети від Сонця, тобто велика піввісь орбіти планети

$a = \frac{SA + S\pi}{2}$. Оскільки площі, що описуються радіус-вектором



в однакові проміжки часу, рівні між собою, то лінійна швидкість руху планети по орбіті змінюється: найбільшого значення вона досягає в перигелії, найменшого – в афелії.

Рис. 1. До законів Кеплера

Третій закон показує, що рух по орбіті планет, більш віддалених від Сонця, повільніший, ніж планет, більш до нього близьких.

Три закони Кеплера представляють кінематику незбуреного руху планети. Кеплер геніально передбачив, що рухами планет керує сила, що вийде від Сонця. Але стан науки того часу не дозволило йому обґрунтувати свою здогадку і правильно пояснити рухи тіл сонячної системи, що спостерігаються. Це було зроблено великим англійським вченим Ісааком Ньютоном, який опублікував у 1687 р. свій видатний твір «Математичний початок натуральної філософії». Ньютон встановив, що рух планет керується силою притягання Сонця і відкрив закон всесвітнього тяжіння: кожні дві матеріальні частинки взаємно притягаються з силою, що пропорційна добутку їх мас і обернено пропорційна квадрату відстані між ними, тобто

$$F = k \frac{m_1 m_2}{r^2},$$

де k – коефіцієнт пропорційності; m_1 і m_2 – маси частинок; r – відстань між ними.

Спираючись на відкритий ним закон всесвітнього тяжіння, Ньютон показав, що три закони Кеплера є наслідком цього закону. Із закону всесвітнього тяжіння випливає, що на рух планет впливає не тільки притягнення Сонця, але й сили, що виникають в результаті їх взаємного притягнення. Зміни елементів планетних орбіт під впливом збурених сил інших планет називаються збуреннями або нерівностями елементів орбіт. Але вплив кожної із планет на рух інших порівняно малий, бо 99,86% маси всієї сонячної системи зосереджено в Сонці. Ці відхилення від кеплерового руху, за необхідності враховуються поособливному.

З часів глибокої давнини вважалося, що зірки, на відміну від планет, нерухомі, зберігають незмінним своє взаємне положення. Але насправді всі зірки рухаються у просторі одні відносно інших в різних напрямках, зі швидкостями приблизно кілька десятків кілометрів за секунду. На початку XVIII ст. англійський астроном Галлей, порівню-

ючи свої спостереження зі спостереженнями Птоломея, з'ясував, що деякі з найбільш яскравих зірок помітно змістилися по відношенню до решти зірок. Внаслідок великих відстаней до зірок їх положення, що визначається кутовими координатами, змінюється дуже повільно. Сонце, яке є однією з найближчих до нас зірок, також повинно переміщуватися відносно найближчих до нього зірок. Існування цього руху довів у кінці XVIII ст. засновник зоряної астрономії В. Гершель. Він показав, що Сонце рухається відносно найближчих до нього зірок, захоплюючи за собою всі планети, зі швидкістю біля 20 км/с, в напрямку сузір'їв Ліри і Геркулеса.

Всі зірки, які видно простим оком (при середній гостроті зору і добрій видимості 5000 – 6000 зірок), і велика кількість зірок, які видно в сучасні телескопи, складають так звану зоряну систему Чумацького шляху. Чумацьким шляхом називається смуга, яка слабо світиться на зоряному небі, неправильної форми, що опоясує північну і південну його півкулі приблизно по великому колу, нахиленому під кутом 62° до небесного екватора. Світле сійво Чумацького шляху зумовлене головно світінням великої кількості слабких зірок. Зоряна система Чумацького шляху, однією із зірок якої є Сонце, має приблизно форму величезного сильно стиснутого еліпсоїда обертання, найбільший діаметр якого приблизно 100 000 світлових років, а найменший – 10 000 світлових років. *Світловим роком* називається відстань, яку проходить світло за один рік, вона становить $9,46 \cdot 10^6$ км.

До складу системи Чумацького шляху входять також світлі і темні газові та пилові туманності, а також ще більш розріджене міжзоряне середовище, що складається з нейтральних газів, гарячої плазми і космічного пилу.

Крім системи Чумацького шляху, у всесвіті існують мільйони подібних зоряних систем, які називаються гала-

ктиками. Скупчення таких галактик, які виявлені в деяких областях неба, називаються надгалактиками. Відстані між галактиками величезні: відстань від багатьох із них до нас світло проходить за декілька сотень мільйонів років.

Питання походження і розвитку небесних тіл відносять до найбільш складним питанням природознавства. Розвиток небесних тіл відбувається повільно, тисячами, а часто й мільйонами років. Тому перевірка правильності космогонічних гіпотез шляхом спостережень пов'язана з великим труднощами.

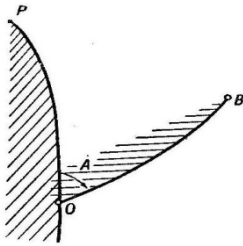
Всесвіт являє собою вічний кругообіг матерії, нескінченний процес її послідовних перетворень. Форми розвитку матерії невичерпно різноманітні, внаслідок цього створення яких-небудь однакових схем розвитку небесних тіл призводить до ідеалізму. У всесвіті всі знаходиться у безперервному русі, все змінюється.

Унаслідок наявності в міжзоряному просторі дифузійної матерії багато вчених пояснюють походження зірок конденсацією газово-пилової дифузійної матерії під впливом гравітаційних сил. Існують і інші погляди на процеси формування зірок. Наприклад, академік В.А. Амбарцумян спільно з співробітниками Бюраканської астрофізичної обсерваторії розробили гіпотезу походження зірок із надщільної «дозоряної» матерії – «протозірок». У процесі своєї еволюції кожна зірка проходить ряд послідовних змін, при цьому багато деталей цього процесу нам поки невідомі.

I. ВИЗНАЧЕННЯ ІСТИННОГО АЗИМУТА АСТРОНОМІЧНИМ СПОСОБОМ

1. Астрономічний азимут і його призначення

Астрономічним азимутом A напрямку OB (рис. 2, а) називається кут створений площиною астрономічного меридіана OP і вертикальною в точці O площиною, що проходить через цей напрямок.



Площина астрономічного меридіана проходить через вискову лінію цієї точки паралельно осі обертання Землі.

Рис. 2 а. Астрономічний азимут

Положення астрономічного меридіана будь-якої точки поверхні Землі визначається за результатами спостережень небесних світил. Тому азимут A прийнято називати астрономічним. Інколи астрономічний азимут іменують істинним.

В геодезії безпосереднє практичне застосування більшою мірою має не астрономічний, а геодезичний азимут.

Геодезичний азимут – кут, складений площиною геодезичного меридіану початкової точки даного напрямку і нормальною в цій точці площиною, що проходить через зазначений напрямок.

Площина геодезичного меридіана проходить через нормаль даної точки до поверхні референц-еліпсоїда і через малу вісь цього еліпсоїда. Напрямок площини геодезичного меридіана можна отримати з обчислень геодезичної мережі на поверхні референц-еліпсоїда.

Значення астрономічного і геодезичного азимутів одного напрямку, як правило, неоднакові. Їх різниця пояснюється наявністю ухилення вискової лінії в даній точці.

Азимут визначений із середньою квадратичною похибкою, більшою ніж $15''$, поправкою за ухилення вискової лінії зазвичай не виправляється.

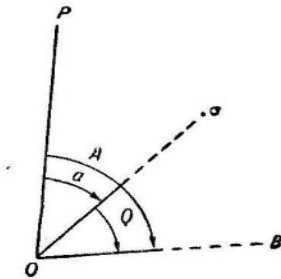
Астрономічні азимути, що визначаються з високою точністю ($0.5 - 1''$), які використовуються для орієнтування ДГМ.

Геодезичні мережі спеціального призначення або окремі напрямки звичайно орієнтують, використовуючи дирекційні кути або геодезичні азимути сторін ДГМ. У районах, де немає таких сторін або з якихось причин відсутня видимість між наявними вихідними геодезичними пунктами, для орієнтування наново створюваної мережі визначають астрономічні азимути.

В окремих випадках астрономічні азимути визначають для контролю кутових вимірювань.

2. Сутність визначення астрономічного азимута

Азимут напрямку OB (рис. 2, б), що визначається астрономічним шляхом, є сумою двох кутів:



$$A = \alpha + Q$$

Горизонтальний кут Q , створений напрямками на земний предмет B і небесне світило σ , вимірюється на пункті O без посередньо кутомірним приладом.

Рис. 2 б. Азимути світила і земного предмета

Кут α , що є азимутом світила σ , не може бути вимірний безпосередньо, тому що напрямок астрономічного меридіану OP на місцевості не відмічений. Але, як зазначимо нижче, його можна обчислити, попередньо вимірявши висоту світила (кут нахилу) або середній момент часу вимірювання кута Q . Дійсно, оскільки визначеній висоті обраного світила або конкретному моменту часу відповідає конкретний азимут з даної точки на це світило, між цими величинами, зрозуміло, існує залежність, яка дозволяє визначити азимут небесного світила на середній момент часу вимірювання горизонтального кута Q .

Отже, сутність визначення астрономічного азимута A напрямку на земний предмет полягає у визначенні астрономічного азимута a якого-небудь світила на визначений момент часу й у вимірюванні в цей самий момент горизонтального кута Q , складеного напрямками на світило і земний предмет.

3. Небесна сфера

Географічні координати точок земної поверхні й азимуту напрямків визначаються зі спостережень небесних світил. При цьому необхідно знати положення світил у прийнятій системі відліку.

В астрономії прийнято положення світил визначати або прямокутними, або полярними координатами. Небесні світила знаходяться від Землі на різних відстанях, багато з яких нам невідомі.

Але при розв'язку астрономічних задач можна обійтись без знань відстаней до небесних світил, достатньо визначити напрямки світлового променя, який іде від світила до точки спостереження. При цьому для спрощення

математичних розрахунків і геометричних побудов, а також з методичної точки зору зручно вважати, що всі світила знаходяться на довільній, але однаковій відстані від спостерігача, тобто вони ніби спроектовані на поверхню сфери.

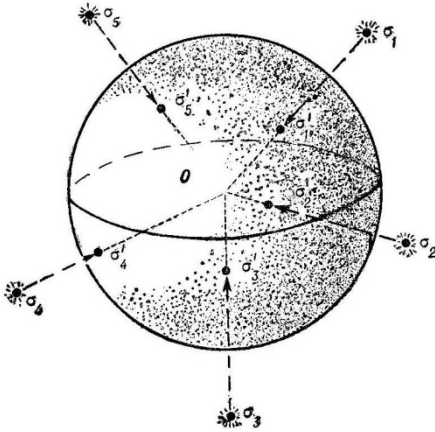


Рис. 2 в. Проекції світил на поверхню небесної сфери

Центр сфери, дивлячись на поставлене завдання, може знаходитися в будь-якій точці простору, в точці спостереження, в центрі Землі, в центрі Сонця, в центрі Місяця і т. ін.

Така сфера довільного радіуса з центром у довільній точці простору, на яку ми проектуємо спостережувані світила, називається допоміжною небесною сферою і використовується для різних математичних розрахунків і побудов.

Залежно від того, де знаходиться центр небесної сфери: на поверхні Землі, в центрі Землі або в центрі Сонця, небесна сфера називається відповідно топоцентричною, геоцентричною або геліоцентричною.

Вивчати взаємне розташування на небесній сфері точок $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3 \dots$, які є проекціями небесних світил, значно

Якщо ми виберемо відрізок довільної, але постійної довжини і від точки спостереження відкладемо його на всіх прямих, які з'єднують спостерігача, що знаходиться в точці O , зі світилами $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3 \dots$, то геометричним місцем отриманих точок буде сферична поверхня (рис. 2, в).

простіше і зручніше, ніж вивчати взаємне розташування напрямків на небесні світила. Тому допоміжна небесна сфера широко використовується у сферичній астрономії.

При переміщенні центру небесної сфери з однієї точки простору в іншу взаємне розташування небесних світил не змінюється при умові, що напрямки на них будуть паралельні дійсно спостережуваним напрямкам.

Про переміщенні спостерігача по поверхні Землі взаємне розташування зірок залишається незмінним, оскільки ці переміщення незначні у порівнянні з відстанню до зірок. Навіть переміщення спостерігача разом із Землею навколо Сонця не викликає помітних змін у розташуванні більшості зірок на сфері.

Але при збереженні незмінним взаємного розташування зірок на сфері положення їх по відношенню до горизонту безперервно змінюється.

У давнину вважали, що рух небесних світил викликано обертанням небесної сфери як цілого навколо осі, яка проходить через Землю і зберігає постійний напрямок у просторі. Насамперед причиною видимого руху небесних світил є обертання Землі.

Відомо, що для спостерігача в північній півкулі добове обертання Землі проходить проти годинникової стрілки, в напрямку із заходу на схід. Спостерігачу ж, який знаходиться на поверхні Землі, здається, що вона нерухома, а всі небесні світила – Сонце, Місяць, планети, зірки – переміщуються відносно площини горизонту, який займає в даному пункті земної поверхні цілком визначене положення, в напрямку зі сходу на захід.

Проміжок часу, протягом якого Земля здійснює повний оберт навколо миттєвої осі її обертання, приймається в астрономії за одиницю вимірювання так званого всесвітнього часу і називається добою. Тому й видиме обертання

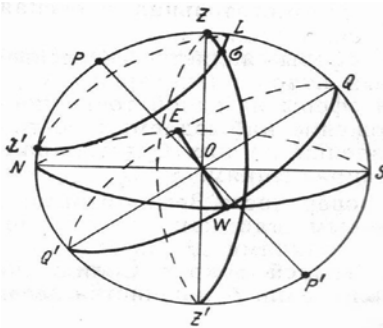
небесної сфери, яке є відображенням дійсного обертання Землі, називається добовим обертанням.

4. Основні точки і лінії небесної сфери

Одним із основних напрямків, відносно поверхні Землі є напрямок вискової або вертикальної лінії, який відповідає напрямку сили тяжіння в даній точці. Його можна отримати за допомогою виска. Цей напрямок зручно приймати за вихідний при побудові систем координат для визначення положення світил на небесній сфері.

Якщо через центр небесної сфери, побудованої в довільній точці простору, провести пряму, паралельну висковій лінії в деякій точці земної поверхні, то ця пряма також буде називатися висковою, або вертикальною лінією.

Уявімо, що центр небесної сфери, точка O (рис. 3), збігається з місцем спостереження, тобто ми будемо мати справу з топоцентричною небесною сферою. В цьому випадку вертикальна лінія збігається з напрямком виска в даній точці земної поверхні і перетне небесну сферу в двох діаметрально протилежних точках. Одна з них, яка розташована над точкою спостереження, називається *зенітом* і



позначається літерою Z . Друга, діаметрально протилежна їй, називається *надиром* і позначається літерою Z' .

Велике коло $NESW$, площина якого перпендикулярна вискової лінії ZZ' , називається *небесним* або *астрономічним горизонтом*.

Рис. 3. Точки і лінії, пов'язані з добовим обертанням Землі

Небесний горизонт не збігається з видимим горизонтом, яким називається лінія, що обмежує доступну для огляду частину земної поверхні. Видимий горизонт подається малим колом небесної сфери.

Площиною небесного горизонту небесна сфера поділяється на дві півкулі: видима, що містить зеніт, і невидима, що містить надир.

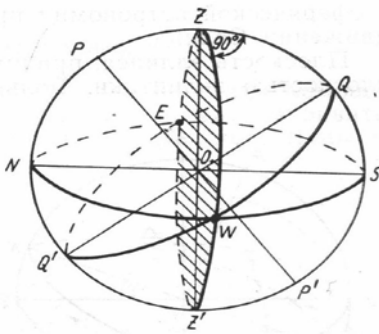
Через центр небесної сфери проведемо пряму PP' (див. рис. 3) паралельну осі обертання Землі. Ця пряма називається *віссю світу*. Точки P і P' , в яких ось світу перетинається з поверхнею сфери, називаються *полюсами світу*; точка P – північним полюсом світу, точка P' – південним. Вісь світу PP' поділяє небесну сферу на дві половини; верхню PZP' , яка має зеніт, і нижню $PZ'P'$, що містить надир.

Велике коло $QWQ'E$, площина якого перпендикулярна осі світу PP' , називається *небесним екватором*. Оскільки вісь світу паралельна осі обертання Землі, то площина небесного екватора паралельна площині земного екватора. У випадку геоцентричної небесної сфери площина небесного екватора збігається з площиною земного екватора.

Мале коло $L\sigma L'$, яке проходить через світило і паралельне екватору, називається *добовою паралеллю світила*. Добова паралель збігається з малим колом, яке світило описує внаслідок видимого добового обертання небесної сфери. Чим ближче до полюсу знаходиться світило, тим менше буде радіус його добової паралелі.

Кожна площина, яка проходить через вискову лінію ZZ' , буде вертикальною площиною. Проведемо вертикальну площину через світило σ (див. рис. 3). Велике коло $Z\sigma Z'$, по якому ця площина перетинається з небесною сферою, називається *вертикалом*, або *колом висоти світила σ* . Отже, вертикал будь-якої точки або світила проходить через зеніт і надир та перпендикулярний площині горизонту.

Вертикал, що проходить через полюси світу, точки P і



P' , називається небесним меридіаном. Отже, *небесним меридіаном* називається велике коло $PZP'Z'$, яке проходить через полюси світу і точки зениту та надиру. Площина меридіану перпендикулярна і до площини горизонту, і до площини екватора.

Рис. 4. Перший вертикал

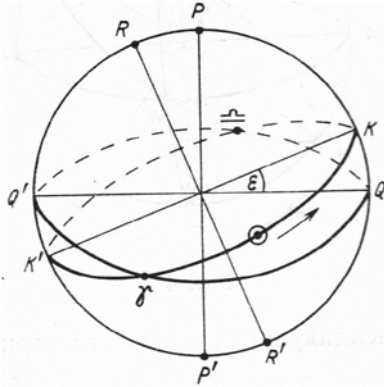
Небесний меридіан поділяє небесну сферу на дві половини – західну і східну. Площина небесного меридіана паралельна площині земного меридіану, а у випадку геоцентричної або топоцентричної небесної сфери збігається з площиною земного меридіану. Точки перетину небесного екватору з екватором називається верхньою і нижньою точками екватора й позначаються літерами Q і Q' .

Вертикал, площина якого перпендикулярна до площини меридіана, називається *першим вертикалом* (рис. 4). Перший вертикал проходить через точку сходу E і заходу W .

Пряма NS , по якій площина горизонту перетинається з площиною меридіана, називається *полуденною лінією*. Полуденна лінія перетинає поверхню допоміжної небесної сфери в точці півночі N і точці півдня S . Інакше кажучи, точками півночі N і півдня S називаються точки, в яких небесний меридіан перетинається з горизонтом. Точки сходу, півдня і півночі розташовані один від одного на відстані 90° і є головними точками горизонту.

Земля, супутник Сонця, рухається навколо нього по орбіті, яку в першому наближенні можна прийняти за плоску криву – еліпс. Повний оберт навколо Сонця Земля робить протягом одного року. Спостерігачу ж, який знахо-

диться на поверхні Землі, здається, що Сонце рухається відносно Землі, роблячи повний оберт навколо неї протягом року. Тому в сферичній астрономії прийнято говорити про видимий річний рух Сонця.



Площина еліпса, який приймається за орбіту Землі, називається площиною екліптики. Велике коло $K\gamma K'Q$ (рис. 5), по якому площина екліптики перетинається з небесною сферою, називається *екліптикою*.

Рис. 5. Точки і лінії, пов'язані з видимим рухом Сонця

Екліптика являє собою один із основних великих кіл небесної сфери, оскільки в першому наближенні можна вважати, що по ньому відбувається видимий річний рух Сонця.

Внаслідок наявності у Землі супутника (Місяця), навколо Сонця рухається центр ваги системи Земля – Місяць.

Унаслідок притягання Землі і Місяця іншими планетами сонячної системи площина екліптики має складні коливання в просторі, які поділяються на вікові і періодичні. Тому, строго кажучи, видимий річний шлях Сонця являє собою складну криву, відхилення якої від плоскої кривої досягає $1''$.

Площина екліптики нахилена до площині небесного екватора на кут, що дорівнює приблизно $23^{\circ}27'$. Цей кут називається нахилом екватора до екліптики і позначається літерою ε . Пряма яка проходить через центр сфери, перпендикулярно площині екліптики, називається віссю екліптики, а точка перетинання її з небесною сферою – полюса-

ми екліптики. Полюс екліптики (точка R), найближчий до північного полюсу світу, називається *північним полюсом екліптики*, а діаметрально протилежний йому (точка R') – *південним полюсом екліптики*.

Екліптика і екватор перетинаються в двох діаметрально протилежних точках, причому точка, позначена знаком сузір'я Овна (γ), яке Сонце проходить 21 березня, рухаючись із південної півкулі небесної сфери в північну, називається *точкою весняного рівнодення*; діаметрально протилежна їй точка, що позначається знаком сузір'я Ваги (Ω), яке Сонце проходить 23 вересня, рухаючись із північної півкулі в південну, називається *точкою осіннього рівнодення*. Точки екліптики, що знаходяться від точок весняного і осіннього рівнодення на 90° , називаються точками *сонцестояння*. В північній півкулі знаходиться точка літнього сонцестояння K , яку Сонце, проходить приблизно 22 червня, в південній – точка зимового сонцестояння K' , яку Сонце проходить десь 22 грудня.

5. Сферичні координати

Положення світила на небесній сфері визначається за допомогою сферичних координат. Визначення ж положення світил (Сонця, Місяця і планет), які на небесній сфері мають вигляд диска, також зводиться до визначення положення точки, наприклад, центра диска, найвищої або найнижчої точок цього диска. Для розв'язання цієї задачі на сфері беруть два взаємно перпендикулярних великих кола, одне з яких називається основним, а друге – початковим колом системи.

Одна з точок перетинання основного і початкового кіл називається початковою точкою системи.

Зі сферичної тригонометрії відомо, що геометричним полюсом великого кола називається точка на сфері, яка знаходиться від всіх точок цього великого кола на сферич-

ній відстані, що дорівнює 90° . Положення великого кола буде, очевидно, цілком визначено, якщо відомо положення його полюса.

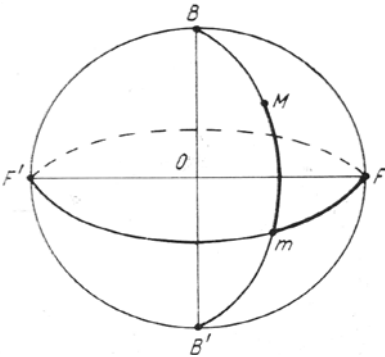


Рис. 6. До визначення координат світил

В астрономії використовуються кілька систем сферичних координат, які різняться одна від іншої вибором основного і початкового кіл. Крім того, різні системи сферичних координат характеризуються вибором початкової точки і напрямком відліку координат.

Кожна система координат має певне призначення, свої переваги і свої недоліки. Розглянемо чотири основних, найбільш часто використовуваних в астрономії систем координат: горизонтну, першу екваторіальну, другу екваторіальну, екліптичну. Ці системи є небесними сферичними системами координат і використовуються для визначення положення світил на небесній сфері. Назва їх відповідає назві великого кола, прийнятого за основне в цій системі координат.

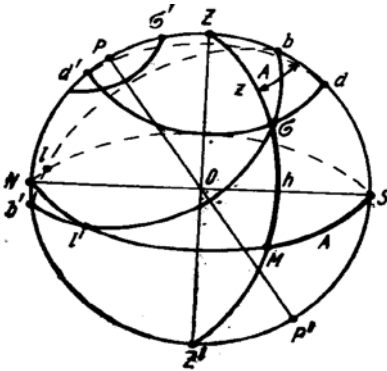
При побудові будь-якої із перелічених систем координат використовується один і той самий принцип, який полягає в такому. Положення точки на сфері, таке ж як і на площині, визначається двома координатами. Для визначення першої координати через полюси вибраного основного кола, точки B і B' (рис. 6) і шукану точку M проводиться велике коло BMB' . Дуга mM від основного кола до шуканої точки і є першою координатою. Друга координата завжди відлічується від обраної початкової точки системи (точки F) до точки перетину кола першої координати з ос-

новним колом. Отже, на рис. 6 другою координатою буде дуга Fm .

Розглянемо зазначені системи сферичних координат.

6. Горизонтна система координат

Як видно з назви, в горизонтній системі координат за основне коло приймається астрономічний горизонт. Гео-



метричними полюсами горизонту є Zenit і Nadir, тобто точки Z і Z' . Початковим колом є небесний меридіан $PZP'Z'$ (рис. 7), початковою точкою – точка півдня S .

Для визначення положення світила σ відносно горизонту проведемо вертикал світила $Z\sigma Z'$.

Рис. 7. Горизонтна система координат

Першою координатою буде дуга вертикалу від горизонту до світила, тобто дуга $M\sigma$. Ця дуга називається висотою світила і позначається літерою h . Висота відлічується від горизонту до Zenitu від 0 до $+90^\circ$ і від горизонту до Nadiru від 0 до -90° .

Часто замість висоти користуються її доповненням до 90° , тобто дугою $Z\sigma$, яка називається *зенітною відстанню світила*. Зенітна відстань позначається літерою z . Таким чином, зенітна відстань – це дуга вертикалу від Zenitu до світила. Воно змінюється від 0 до 180° .

Мале коло $d\sigma d'$ (див. рис. 7), проведене через світило σ , паралельно горизонту, називається *альмукантаратом світила*. Всі світила, які знаходяться на одному й тому ж аль-

мукантараті, наприклад на альмукантараті $d\sigma d'$, має однакові висоту й зенітну відстань. Із рис. 7 видно, що

$$h + z = 90^\circ. \quad (1)$$

Другою координатою є двограний кут $SZZ'\sigma$ між площиною небесного меридіана і площиною вертикалу світила. Цей кут називається азимутом світила і позначається літерою A . В астрономії азимути прийнято відлічувати від точки півдня S за рухом годинникової стрілки від 0 до 360° .

Астрономічний азимут чисельно дорівнює дузі горизонту від точки півдня S до основи вертикалу світила, точки M , а також сферичному куту при зеніті між небесним меридіаном і вертикалом світила.

В геодезії азимути відлічуються від точки півночі N . Тому з деяким наближенням можна вважати, що астрономічний азимут відрізняється від геодезичного на 180° .

Унаслідок добового обертання Землі для спостерігача, який знаходиться на якому-небудь пункті на її поверхні, положення світила σ на сфері безперервно змінюється, роблячи повний оберт по добовій паралелі bb' протягом доби.

Отже, горизонтні координати світила: висота h і азимут A в даному пункті спостереження в різний час доби будуть різними.

Розглянемо зміни горизонтних координат нерухомої зірки σ протягом доби. В момент сходу зірки σ вона знаходиться на горизонті в точці l , її висота $h = 0$, зенітна відстань $z = 90^\circ$. По мірі просування зірки по добовій паралелі її висота h збільшується, зенітна відстань z зменшується. В момент, коли зірка перетинає меридіан в його верхній частині, в точці b , її висота досягає максимальної величини, зенітна відстань – мінімальної. Проходження зірки через верхню частину меридіана називається *верхньою кульмінацією*. Після верхньої кульмінації зірка переходить зі східної в західну половину небесної сфери і починає опускати-

ся до горизонту. Висота її поступово зменшується, а зенітна відстань зростає. В момент заходу зірка знову знаходиться на горизонті в точці l' , висота її $h = 0$, а зенітна відстань $z = 90^\circ$.

Після заходу, під горизонтом, висота зірки стає від'ємною, а зенітна відстань – більше 90° . Зірка наближається до нижньої частини меридіана й перетинає його в точці b' . Проходження зірки через нижню частину меридіана, при якому зенітна відстань її максимальна, а висота – мінімальна, називається *нижньою кульмінацією*.

Отже, зірка протягом доби двічі проходить через меридіан: один раз у верхній кульмінації, другий – у нижній.

Якщо верхня кульмінація зірки проходить на південь від зеніту, наприклад у зірки σ , то азимут її в момент кульмінації дорівнює 0. По мірі просування по добовій паралелі азимут зірки збільшується і в нижній кульмінації досягає 180° . Після переходу зірки в східну половину небесної сфери азимут продовжує збільшуватися і в момент наступної верхньої кульмінації дорівнює 360° . Тому протягом доби азимут таких зірок зміниться від 0 до 360° .

Зміни азимута у зірок, які мають верхню кульмінацією на північ від зеніту, відбуваються по більш складному закону. Ці питання ми розглянемо у подальшому.

В геодезичній астрономії для визначення координат пунктів земної поверхні і азимутів напрямків використовують прилади, які мають вертикальну і горизонтальну осі обертання і зв'язані з ними точно відокремлені вертикальний і горизонтальний круги. Оскільки горизонтна система координат визначається положенням вискової, то очевидно, що із спостережень за допомогою таких інструментів ми отримасмо зенітні відстані й азимути світил. Унаслідок безперервної зміни горизонтних координат протягом доби повинен бути вказаний момент, якого вони стосуються. Тому визначення горизонтних координат світил здійсню-

ється з використанням точних годинників, хронометрів, за якими фіксується момент спостереження.

Проте горизонтні координати є не тільки функціями часу, але й функціями географічного положення місця спостереження. Дійсно, вискові лінії в різних точках земної поверхні мають різний напрямок. Тому зеніти, небесні горизонти і небесні меридіани в цих точках між собою не збігаються. Оскільки основним і початковими кругами в горизонтній системі координат є небесний горизонт і небесний меридіан, координати одного й того ж світила, визначені в один і той самий фізичний момент у різних точках земної поверхні, будуть мати різне значення.

Отже, горизонтні координати є функціями, і, як ми з'ясуємо пізніше, доволі складними, часу і географічного положення пункту спостереження. Для того щоби отримати положення світила, не пов'язане з точкою спостереження і незалежне від добового обертання, застосовується перша і друга екваторіальні системи координат. У першій екваторіальній системі координат одна координата, а в другій – обидві пов'язані тільки з небесною сферою.

7. Перша екваторіальна система координат

У першій екваторіальній системі координат основне коло – небесний екватор, геометричними полюсами якого є північний і південний полюси світу.

Для визначення положення світила відносно небесного екватора через полюси світу і світило проведемо велике коло $P\sigma P'$ (рис. 8), перпендикулярне екватору. Це коло називається колом схилення світила.

Першою координатою буде дуга круга схилень від екватора до світила, тобто $F\sigma$. Вона називається схиленням світила і позначається літерою δ . Схилення відлічується від екватора до північного полюсу світу, від 0 до $+90^\circ$ і до південного полюсу світу 0 до -90° . Інколи замість схилен-

ня як перша координата використовується доповнення схилення до $+90^\circ$, так звана полярна відстань світила Δ . Полярною відстанню називається дуга кола схилення $P\sigma$; вона відлічується від північного полюса до світила і змінюється від 0 до 180° . Із рисунка видно, що схилення і полярна відстань пов'язані співвідношенням

$$\delta + \Delta = 90^\circ. \quad (2)$$

Рух світила по добовій паралелі $b\sigma b'$ відбувається паралельно небесному екватору. Отже, від добового обертання небесної сфери схилення світила не залежить. Воно є величиною постійною. Далі ми побачимо, що схилення поступово змінюється під впливом факторів, які не залежать від добового обертання небесної сфери (прецесії, нутації, власних рухів світил). Вплив цих факторів розглянемо нижче.

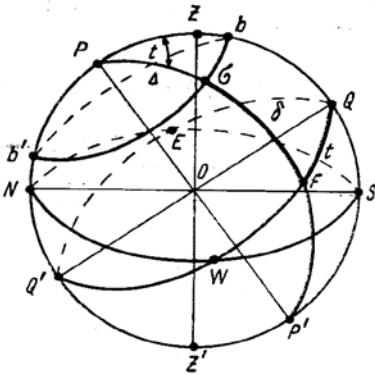


Рис. 8. Перша екваторіальна система координат

Оскільки схилення пов'язане тільки з небесною сферою, від географічного положення спостерігача воно не залежить.

Початковим колом цієї системи координат є небесний меридіан, початковою точкою – верхня точка Q екватора.

Другою координатою в розглядаємої системі є сферичний кут при північному полюсі світу між небесним меридіаном і кругом схилень світила, кут $bP\sigma$. Цей кут називається годинним кутом світила і позначається літерою t .

Годинний кут може бути вимірний також дугою екватора QF або двограним кутом $bPP'\sigma$ між площиною небесного меридіана і площиною круга схилень світила.

Годинні кути відлічуються від верхньої точки екватора Q в напрямку добового обертання небесної сфери від 0 до 360° . При припущенні, що добове обертання небесної сфери рівномірне, годинні кути зірок зростають рівномірно, пропорційно часу. В момент верхньої кульмінації годинний кут дорівнює 0° , в момент нижньої – 180° .

Унаслідок того що годинні кути зірок зростають пропорційно часу, часто їх виражають в годинній мірі – в годинах, хвилинах і секундах часу. Для переведення годинної міри в градусну і навпаки використовують такі співвідношення.

За добу зірка здійснює повний оберт навколо осі світу PP' . Отже,

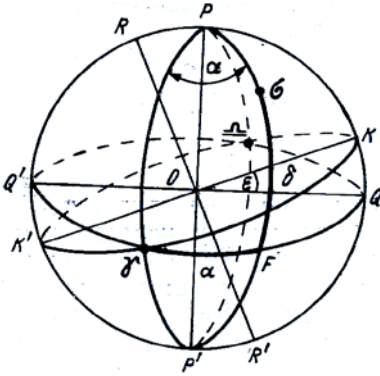
24^h	відповідають	360°
1^h	відповідає	15°
1^m	відповідає	$15'$
1^s	відповідає	$15''$
1°	відповідає	4^m
$1'$	відповідає	4^s

Годинний кут відлічується від небесного меридіана, положення якого визначається напрямком вискової лінії в даному пункті. Тому годинний кут залежить від географічного положення пункту спостереження на земній поверхні.

Як бачимо, в першій екваторіальній системі координат тільки одна координата не залежить від добового обертання небесної сфери і положення спостерігача на земній поверхні.

8. Друга екваторіальна система координат

В другій екваторіальній системі координат, так само як і в першій, основним колом служить небесний екватор, а першою координатою – схилення δ (або полярна відстань Δ). Як ми уже зазначили, ця координата не залежить від часу.



Для визначення другої координати потрібно обрати на сфері початкове коло і початкову точку. Щоб друга координата не залежала від часу і місця спостереження, необхідно, щоби початкова точка знаходилася на екваторі і була незмінно зв'язана зі сферою.

Рис. 9. Друга екваторіальна система координат

Через вісь світу PP' і точки весняного й осіннього рівнодення проведемо круг схилень рівноденних точок $P\gamma P'\Omega$ (рис. 9). Це велике коло називається *колюром рівнодення*.

Другою координатою буде дуга екватора γF від точки весняного рівнодення до основи круга схилень даного світила. Вона називається *прямим сходженням* і позначається літерою α .

Пряме сходження може бути також виміряне двограним кутом $\gamma PP'\sigma$ між площиною колюра рівнодення і площиною круга схилень даного світила, або сферичним кутом $\gamma P\sigma$ при північному полюсі світу між колюром рівнодення і кругом схилень.

Прямі сходження виражаються в годинній мірі і відлічуються від точки весняного рівнодення проти руху годинникової стрілки, тобто в напрямку, протилежному ви-

димому добовому руху світил, від 0 до 24^h . Пряме сходження відлічується від точки весняного рівнодення, яка бере участь в добовому обертанні, як і всі світила небесного зводу. Положення світил відносно точки весняного рівнодення не змінюється і, отже, пряме сходження, як і схилення, не залежить від добового обертання небесної сфери.

Оскільки друга екваторіальна система координат не пов'язана з горизонтом і меридіаном, екваторіальні координати α і δ від географічного положення місця спостереження також не залежить.

Екваторіальні координати α і δ визначаються зі спеціальних спостережень в обсерваторіях і публікуються в астрономічних щорічниках і зоряних каталогах. При виконанні астрономо-геодезичних робіт екваторіальні координати вважаються невідомими.

Є телескопи, які застосовуються в астрофізиці, у яких одна вісь обертання паралельна осі світу PP' , інша – площині небесного екватора. Для наведення телескопа на ту область неба, де знаходиться спостережуване світило, він забезпечується двома кругами, один із яких паралельний площині небесного екватора, другий лежить в площині круга схилень світила. Добове обертання Землі виключається шляхом з'єднання осі обертання труби з годинними механізмом, який веде трубу за зіркою протягом часу, необхідного для спостережень. Тому спрямована на світило труба, положення якої контролюється спостерігачем, слідує за рухом світила, і воно залишається в полі зору труби стільки часу, скільки необхідно спостерігачу.

9. Екліптична система координат

В екліптичній системі координат основне коло – екліптика $K\gamma K'\Omega$, – геометричними полюсами якої є північний і південний полюси екліптики, тобто точки R і R' (рис. 10).

Через вісь екліптики RR' і світило σ проведемо велике коло $R\sigma R'$, перпендикулярне площині екліптики. Це коло називається кругом широти світила. Першою координатою буде дуга круга широти від екліптики до світила, дуга $D\sigma$. Ця дуга називається екліптичною широтою світила і позначається літерою b . Екліптична широта відлічується від екліптики від 0 до $+90^\circ$ за напрямком до північного полюса екліптики і від 0 до -90° за напрямком до південного полюса екліптики.



Початковим колом в екліптичній системі координат є круг широти рівноденних точок $R\gamma R'\Omega$, початкова точка – точка весняного рівнодення γ .

Другою координатою буде дуга екліптики γD від точки весняного рівнодення до основи круга широти світила. Ця координата називається екліптичною довготою світила і позначається літерою l .

Рис. 10. Екліптична система координат

Екліптична довгота може бути також виміряна двограним кутом $RR'\sigma$ між площиною круга широти рівноденних точок і площиною круга широти даного світила або сферичним кутом $\gamma R\sigma$ при північному полюсі екліптики.

Так само пряме сходження, екліптична довгота відлічується від точки весняного рівнодення проти руху годинникової стрілки, в напрямку, протилежному добовому обертанню небесної сфери від 0 до 360° .

Екліптична система координат застосовується при вивченні руху небесних тіл сонячної системи, а також при вивченні видимого річного руху Сонця.

Прилади для безпосереднього визначення екліптичних координат світил сьогодні не виготовляються.

10. Поняття про координати точок земної поверхні

Існують три типи координат точок земної поверхні – географічні, геодезичні і геоцентричні.

Якщо б Земля була сферою, яка складалася з концентричних шарів однакової щільності, то вискова лінія, проведена в якій-небудь точці земної поверхні, проходила б через центр Землі. В цьому випадку земні меридіани, тобто сліди перерізу поверхні такої Землі площинами, які проходять

через осі її обертання, були б лініями рівних довгот. Земні паралелі, тобто сліди перерізу поверхні такої Землі площинами, перпендикулярними осі її обертання, були б лініями рівних широт. Положення точки земної поверхні могло б бути визначено сферичними координатами – широтою і довготою.

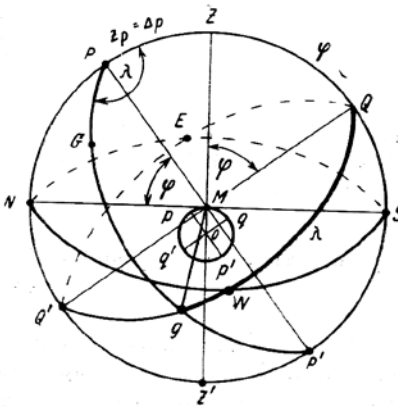


Рис. 11. Географічна система координат

Але в дійсності ця умова не виконується. Земля має не кулеподібну, а вельми складну форму, близьку до еліпсоїду обертання зі стисненням, що дорівнює приблизно $1/298,3$. Маса в тілі Землі розподілена нерівномірно. Тому зазначена система координат може тільки в першому на-

ближенні характеризувати взаємне розташування точок земної поверхні.

Більш точні сферичні координати точки земної поверхні можуть бути отримані, якщо ця точка буде спроектована на небесну сферу за напрямком вискової лінії. Сферичні координати цієї точки називаються географічними координатами.

Основне коло в географічній системі координат – небесний екватор. Географічною широтою точки земної поверхні називається кут між висковою лінією в цій точці і площиною небесного екватора, тобто кут ZMQ (рис. 11). Саме цей кут ми отримуємо з астрономічних спостережень. Географічна широта позначається літерою φ . Вона відлічується від небесного екватора до північного полюсу світу від 0 до $+90^\circ$ і до південного полюсу світу від 0 до -90° .

Із рис. 11 видно, що географічна широта φ дорівнює висоті h_p північного полюса світу над горизонтом, а також схиленню зеніту δ_z , тобто

$$\varphi = h_p = \delta_z.$$

Доповнення широти до 90° відповідає зенітній відстані полюса світу (z_p), а також полярній відстані зеніту (Δ_p).

Початковим колом в географічній системі координат є небесний меридіан Гринвіцької обсерваторії, тобто $\sphericalangle PGP'$, початковою точкою – точка g перетинання гринвіцького меридіана з небесним екватором.

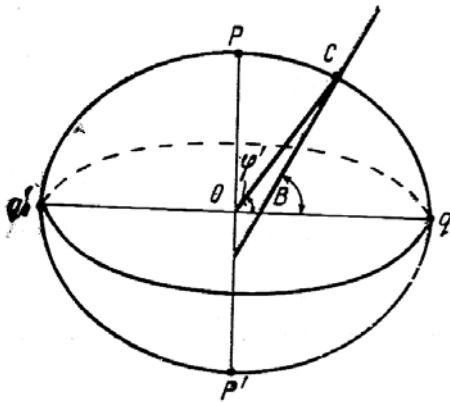
Другою координатою є двограний кут між площинами небесних меридіанів шуканої точки і Гринвіча (кут $gPP'Q$).

Вона називається географічною довготою і позначається літерою λ . Географічна довгота λ може бути виміряна також дугою gQ небесного екватора від основи гринвіцького меридіана (т. g) до основи меридіана шуканої точки (т. Q) або сферичним кутом GPZ при північному полюсі світу.

Географічні довготи відлічуються від небесного меридіану Гринвіча, який приймається за початковий, в напрямку добового обертання Землі від 0 до 24^h . Довготи можуть відлічуватися також в обидва боки від меридіана Гринвіча: на захід від 0 до $+12^h$ і на схід від 0 до -12^h . В геодезичній літературі, навпаки, довготи на схід від меридіана Гринвіча вважаються додатними, на захід – від’ємними і виражаються в градусній мірі.

Прийемо умову вважати довготу додатною на схід від гринвіцького меридіана і від’ємною на захід від нього.

Для цілей картографії застосовують геодезичні координати точок земної поверхні.



Геодезичною широтою B точки земної поверхні називається кут між нормаллю до прийнятого для обробки результатів геодезичних вимірювань і відповідно зорієнтованим референс-еліпсоїдом і площиною екватора.

Рис. 12. Геоцентрична система координат

Геодезичною довготою L пункта земної поверхні називається двограний кут між площинами гринвіцького меридіана і меридіана шуканої точки, спроектованого на поверхню референс-еліпсоїда за напрямком нормалі до його поверхні в даній точці. Розходження між значеннями географічних і геодезичних широт та довгот називається відхиленнями вискової лінії в меридіані (ξ) і в першому вертикалі (η).

При спостереженні близьких до Землі небесних світил і штучних космічних тіл для приведення спостережень до центру Землі застосовується геоцентрична система координат.

Геоцентричною широтою ϕ' точки земної поверхні називається кут між радіусом-вектором референц-еліпсоїда і площиною земного екватора (рис. 12). Геоцентрична довгота відповідає геодезичній довготі.

11. Зв'язок між першою і другою екваторіальними системами

При астрономічних спостереженнях і обчисленнях часто виникає необхідність переходу від координат світила, виражених в одній системі, до координат, виражених в іншій системі.

Розглянемо взаємозв'язок між координатами різних систем, почавши з найпростішого із них.

Як в першій, так і в другій екваторіальних системах координат першою координатою є схилення δ . Тому залишається лише встановити зв'язок між другими координатами – годинним кутом і прямим сходженням світила. Для цього побудуємо на одному й тому ж кресленні першу та другу екваторіальні системи координат (рис. 13).

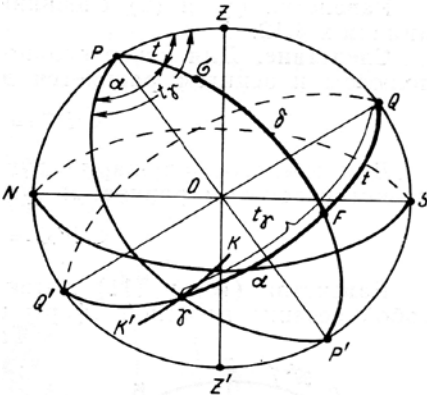


Рис. 13. Зв'язок між першою і другою екваторіальними системами

Із креслення видно, що дуга небесного екватора від точки весняного рівнодення γ до верхньої точки екватора Q завжди дорівнює сумі прямого сходження і годинного кута світила. Але водночас вона являє собою годинний кут точки весняного рівнодення. Позначимо його через t_γ .

Отже,

$$t_\gamma = \alpha + t. \quad (3)$$

В подальшому ми з'ясуємо, що годинний кут точки весняного рівнодення t_γ , виражений в годинній мірі, чисельно дорівнює зоряному часу s в момент спостереження в даному пункті земної поверхні, тобто

$$t_\gamma = s. \quad (4)$$

Таким чином, беручи до уваги рівняння (3) і (4), маємо

$$s = \alpha + t. \quad (5)$$

Отже, зоряний час чисельно дорівнює сумі прямого сходження і годинного кута світила.

Формула (5) є однією з основних астрономічних формул. Вона встановлює зв'язок між першою і другою екваторіальними системами координат.

Оскільки у верхній кульмінації годинний кут світила $t = 0$, формула (5) матиме вигляд

$$s = \alpha. \quad (6)$$

Із рівняння (6) видно, що в момент верхньої кульмінації зоряний час чисельно дорівнює прямому сходженню світила.

Оскільки у нижній кульмінації $t = 12^h$, тому формула (5) матиме вигляд

$$s = \alpha + 12^h, \quad (7)$$

тобто в момент нижньої кульмінації зоряний час чисельно дорівнює прямому сходженню світила, збільшеному на 12^h .

12. Зв'язок між географічною і небесними системами сферичних координат

Взаємозв'язок між географічною і небесними координатами встановлюється двома наступними теоремами.

I теорема. Для спостерігача, який знаходиться в північній півкулі, географічна широта місця спостереження φ дорівнює висоті полюса світу над горизонтом h_p і дорівнює схиленню зеніту δ_z , тобто

$$\varphi = h_p = \delta_z. \quad (8)$$

Позаяк південні широти і схилення зеніту для південної півкулі від'ємні, то для спостерігача, який знаходиться в північній півкулі, рівняння (8) матиме вигляд

$$-\varphi = h_p = -\delta_z. \quad (9)$$

Висновок. Для північної півкулі дуга меридіана між полюсом і зенітом дорівнює доповненню широти до 90° , тобто

$$\sphericalangle PZ = 90^\circ - \varphi. \quad (10)$$

Для південної півкулі дуга меридіана між південним полюсом і зенітом дорівнює сумі 90° і широти, тобто

$$\sphericalangle P'Z' = 90^\circ + \varphi. \quad (11)$$

Рівняння (10) і (11) зумовлені рис. 14, який являє собою переріз небесної сфери площиною небесного меридіана. Оскільки $\sphericalangle NZ = 90^\circ$, $NP = \varphi$, то очевидно, що $\sphericalangle PZ = 90^\circ - \varphi$.

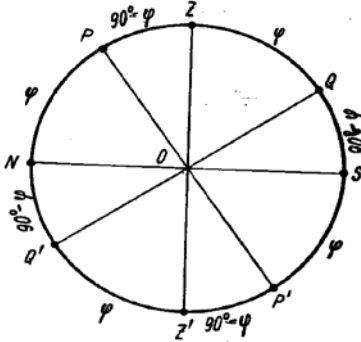


Рис. 14. Переріз небесної сфери площиною небесного меридіана

II теорема. Різниця годинних кутів світила, яке спостерігається в один і той самий момент у двох різних точках земної поверхні, чисельно дорівнює різниці географічних довгот цих точок.

Як доказ на рис. 15 зобразимо небесну сферу, на яку за напрямком вискової лінії спроектовані точки земної поверхні A і B , а також Гринвіч (т. G), небесний меридіан якого приймається за початковий при підрахунку довгот.

Таким чином, на рис. 15 точки Z_A, Z_B і Z_G є зенітами відповідних точок A, B і G земної поверхні, а великі кола $PZAP', PZBP', PZGP'$ – їх небесними меридіанами.

В точках A і B , розташованих на схід від Гринвіча, в один і той самий момент спостерігається світило σ . Велике коло $P\sigma P'$ – круг схилення світила σ .

Географічні довготи точок A і B , що дорівнюють дугам небесного екватора $Q'F$ і $Q'M$, позначимо відповідно λ_A і λ_B . Годинний кут світила σ , спостережуваного в точці A , позначимо t_A , а в точці B – t_B . Отже, необхідно довести, що

$$t_A - t_B = \lambda_A - \lambda_B. \quad (12)$$

Годинні кути світила σ , спостережуваного одночасно в точках A і B , вимірюються сферичними кутами σPZ_A і σPZ_B . Їх різниця буде дорівнювати

$$t_A - t_B = \angle \sigma PZ_A - \angle \sigma PZ_B = \angle Z_A P Z_B.$$

Отже, різниця годинних кутів світила, спостережуваного одночасно в двох точках земної поверхні (A і B), вимірюється сферичним кутом між небесними меридіанами точок A і B , тобто $\angle Z_A P Z_B$ або дугою небесного екватора FM , або двограним кутом $Z_A P P' Z_B$ між площинами небесних меридіанів точок A і B , або центральним кутом FOM .

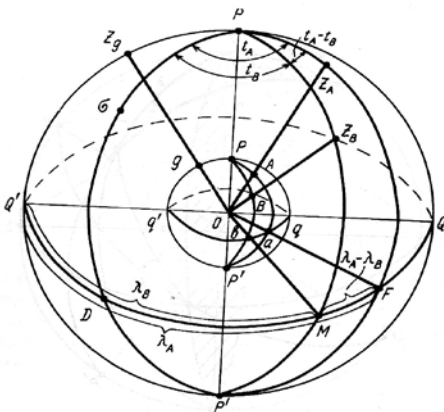


Рис. 15. До другої теореми

Але з рис. 15 видно, що

$$\lambda_A - \lambda_B = \sphericalangle Q'F - \sphericalangle Q'M = \sphericalangle MF.$$

Різниця географічних довгот точок A і B також може бути виміряна сферичним кутом Z_APZ_B або центральним кутом MOF або, нарешті, двограним кутом $Z_APP'Z_B$ між площинами небесних меридіанів точок A і B .

Отже, ми довели рівняння (12), однакове для північної і південної півкуль. Якщо б точки A і B були розташовані на захід від гринвіцького меридіану, то

$$t_A - t_B = \lambda_B - \lambda_A. \quad (13)$$

13. Паралактичний трикутник, зв'язок між різними системами координат

Математична залежність між координатами одного й того ж світила в різних системах астрономічних координат може бути легко встановлена, якщо координати зобразити на одному й тому ж кресленні.

Астрономічний меридіан точки спостереження ZPZ_1P_1 (рис. 16), круг схилення $P\sigma P_1$ і круг висот (вертикал) $Z\sigma Z_1$ будь-якого світила σ своїми перерізами створюють на небесній сфері сферичний трикутник $ZP\sigma$, який має назву паралактичного трикутника.

Вершинами паралактичного трикутника є: P – полюс світу, Z – zenit спостерігача і σ – світило, що спостерігається.

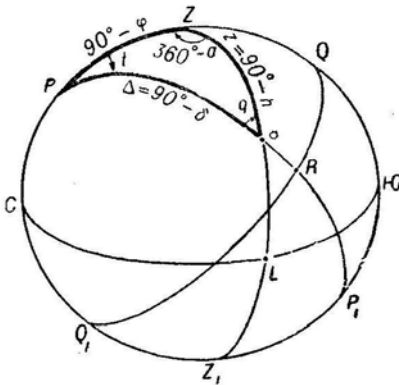
Сторонами цього трикутника служать: дуга меридіана $PZ = (90^\circ - \varphi)$ – додаток широти точки спостереження до 90° , дуга вертикала $Z\sigma = (90^\circ - h)$ – zenitna відстань світила і дуга круга схилення $\Delta = P\sigma = (90^\circ - \delta)$ – полярна відстань світила.

Кутами трикутника є: $ZP\sigma$ – годинниковий кут t світила (або доповнення до 360° , якщо світило знаходиться по другу сторону меридіана); $PZ\sigma$ азимут a (або його доповнення

до 360°) і $P\sigma Z$ – паралактичний кут q світила, який не має власного значення в астрономічних визначеннях.

Отже, дві сторони і два кути паралактичного трикутника є астрономічними координатами світила в тій чи іншій системі, а одна сторона – функцією широти точки спостереження. Тому шляхом розв'язання паралактичного трикутника можна визначити значення будь-якої координати світила або астрономічну широту точки спостереження (значення будь-якого елемента трикутника), якщо відомі значення трьох інших елементів цього трикутника.

Схилення δ звичайно обирають із Астрономічного щорічника або Каталога координат Сонця і яскравих зірок по значенню моменту спостереження світила. Висоту h світила або його зенітну відстань z вимірюють безпосередньо за допомогою кутомірного приладу. Третій елемент трикутника, тобто широту φ точки спостереження, годинниковий



кут t або азимут α світила виміряти безпосередньо неможливо. У зв'язку з цим для отримання значення будь-якого з трьох елементів розв'язують паралактичний трикутник, прийнявши вихідне наближене значення одного із двох елементів, що залишилися.

Рис. 16. Паралактичний трикутник

Якщо, наприклад, виміряти теодолітом висоту h якогось небудь світила, визначити широту φ точки спостереження за великомасштабною картою, а схилення δ спостережуваного світила обрати з Каталогу координат зірок, то азимут

a цього світила можна обчислити за формулою косинуса сторони сферичного трикутника:

$$\cos(90^\circ - \delta) = \cos(90^\circ - \varphi)\cos(90^\circ - h) + \sin(90^\circ - \varphi) \times \sin(90^\circ - h)\cos(360^\circ - a), \quad (14)$$

або

$$\sin \delta = \sin \varphi \sinh + \cos \varphi \cosh \cos a. \quad (15)$$

Отже,

$$\cos a = \frac{\sin \delta - \sin \varphi \sinh}{\cos \varphi \cosh}. \quad (16)$$

За допомогою точних годинників можна визначити годинниковий кут t і, користуючись ним та значеннями δ і φ , обчислити потім азимут даного світила за формулою котангенсів (чотирьох елементів):

$$\operatorname{ctg}(90^\circ - \delta) \sin(90^\circ - \varphi) = \operatorname{ctg}(360^\circ - a) \sin t + \cos t \cos(90^\circ - \varphi), \quad (17)$$

або

$$\operatorname{tg} \delta \cos \varphi = -\operatorname{ctg} a \sin t + \cos t \sin \varphi. \quad (18)$$

Звідси

$$\operatorname{ctg} a = \sin \varphi \operatorname{ctg} t - \frac{\cos \varphi \operatorname{tg} \delta}{\sin t}, \quad (19)$$

або

$$\operatorname{tga} = -\frac{\cos \delta \sin t}{\sin \delta \cos \varphi - \cos \delta \sin \varphi \cos t}. \quad (20)$$

Спосіб отримання азимута світила за останньою формулою називається визначенням азимута за годинним кутом світила.

Для того щоби вміти визначити годинні кути світил, ознайомимося з одиницями часу і способами його вимірювання, що застосовуються при астрономічних роботах.

II. ДОБОВЕ ОБЕРТАННЯ НЕБЕСНОЇ СФЕРИ

1. Добовий рух світил

Для спостерігача, який знаходиться в північній півкулі, географічна широта φ місця спостереження дорівнює висоті h_p полюса світа над горизонтом. Отже, вигляд зоряного неба і кінематична картина добового руху небесних світил різні в точках земної поверхні з різною географічною широтою. Уявимо собі вигляд зоряного неба і рух небесних світил для спостерігача, що знаходиться в трьох різних точках земної поверхні: на північному географічному полюсі Землі, на земному екваторі і в точці з північною широтою φ ($0^\circ < \varphi < 90^\circ$).

Для спостерігача, який знаходиться на північному географічному полюсі Землі, $\varphi = 90^\circ$. Тому й висота північного полюса світа над горизонтом h_p теж дорівнює 90° , тобто північний полюс світу (P) збігається із зенітом Z місця спостереження, а південний полюс світу P' – із надиром Z' . Небесний екватор збігається з небесним горизонтом.

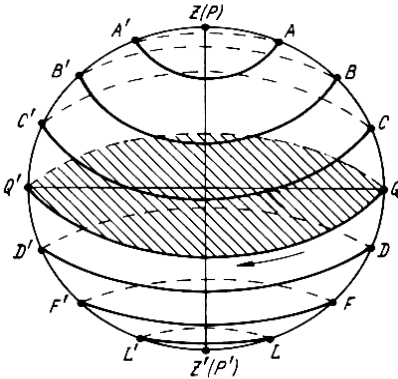
Усі зірки північної півкулі небесної сфери будуть весь час знаходитися над горизонтом і описувати добові паралелі AA' , BB' , CC' , паралельні площині небесного екватора (рис. 17).

Отже, для спостерігача, що знаходиться на північному полюсі Землі, всі зірки північної півкулі будуть незахідними. Навпаки, всі зірки південної півкулі будуть для нього невидимі, тому що їх добові паралелі DD' , FF' , LL' розташовуються над горизонтом.

Сонце з 21 березня по 23 вересня, тобто протягом півроку знаходиться над горизонтом і на північному полюсі відбувається піврічний полярний день. Максимальна висота Сонця над горизонтом дорівнює нахилу екліптики до екватора, тобто $23^\circ 27'$. 23 вересня Сонце йде під горизонт, і на північному полюсі настає піврічна полярна ніч.

Місяць видно над горизонтом протягом приблизно 13,5 діб. Такий же час він знаходиться під горизонтом. Максимальна висота Місяця досягає $28^{\circ}35'$.

Для спостерігача, який знаходиться на південному географічному полюсі Землі,



графічному полюсі Землі, всі зірки південної півкулі будуть незахідними, а зірки північної півкулі – невидимими. Сонце над горизонтом з 23 вересня по 21 березня. В цей час на південному полюсі відбувається піврічний полярний день. 21 березня Сонце йде під горизонт і настає піврічна полярна ніч.

Рис. 17. Для спостерігача, який знаходиться на північному географічному полюсі Землі

Так само як і на північному полюсі, Місяць протягом приблизно 13,5 діб видно над горизонтом, потім на такий самий час він іде під горизонт.

На рис. 17 стрілкою вказаний напрям обертання небесної сфери. Якщо дивитися на небесну сферу ззовні, зі сторони північного полюсу світу, то обертання небесної сфери здійснюється за рухом годинникової стрілки. Якщо ж дивитися зі сторони південного полюсу світу, то проти руху годинникової стрілки.

Для спостерігачів, що знаходяться на географічному полюсі Землі, вісь світу PP' збігається з висковою лінією ZZ' . Отже, поняття небесного меридіану як площини, що проходить через вискову лінію і вісь світу, стає невизначеним. Тому невизначеним стає й поняття напрямів на північ, південь, схід і захід. Для спостерігача, який знаходить-

ся на північному географічному полюсі Землі, будь-який напрям є напрямом на південь, а на південному полюсі – на північ.

Уявімо спостерігача, який знаходиться на земному екваторі. Географічна широта φ такого спостерігача, а отже, і висота h_p полюса світа над горизонтом, дорівнюють нулю. Тому вісь світу PP' (рис. 18) буде знаходитися в площині горизонту і збігатися з полудневою лінією MS : північний полюс світу P збігається з точкою півночі N , південний полюс світу P' – із точкою півдня S .

Небесний екватор QQ' збігається з першим вертикалом, при цьому верхня точка екватору Q збігається із зенітом Z , а нижня Q' – із надиром Z' . Добові паралелі AA' , BB' , CC' , DD' , FF' , LL' усіх зірок перпендикулярні горизонту і поділяються ним навпіл. Тому всі зірки сходять (в точках a' , b' , c' , d' , f' , l') і заходять (в точках a , b , c , d , f , l) перпендикулярно до горизонту. Час їх знаходження над горизонтом дорівнює часу їх знаходження під горизонтом. Тому на екваторі тривалість дня і ночі завжди однакова. Спостерігач бачить зірки обох півкуль небесної сфери, при цьому всі вони сходять і заходять.

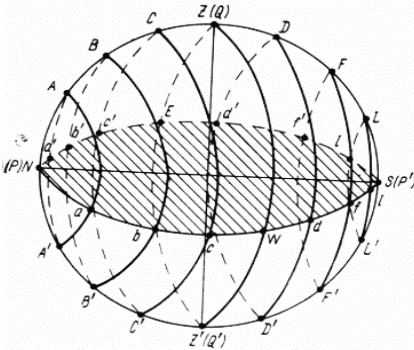


Рис. 18. Для спостерігача, який знаходиться на земному екваторі

21 березня і 23 вересня Сонце буває в зеніті: двічі на рік воно відхиляється від зеніту на максимальну величину: 22 червня на $23^{\circ}27'$ на північ від зеніту, а 22 грудня на таку ж величину на південь. Місяць буває в зеніті приблизно кожні 13 діб.

Ми розглянули вигляд зоряного неба і рух небесних світил для двох крайніх положень спостерігача. Нехай тепер спостерігач знаходиться на широті $0^\circ < \varphi < 90^\circ$. Для такого спостерігача зірки відносно площини горизонту можуть бути поділені на три види: 1) незахідні, 2) східні і західні, 3) несхідні.

Із рис. 19 видно, що всі зірки, добові паралелі яких розташовуються вище добової паралелі NF , яка торкається

небесного горизонту в точці півночі N , будуть весь час знаходитися над горизонтом точки з широтою φ , тобто будуть незахідними. Але схилення зірки, яка під час нижньої кульмінації торкається горизонту в точці півночі, вимірюється дугою QF або $Q'N$, тобто дорівнює $(90^\circ - \varphi)$.

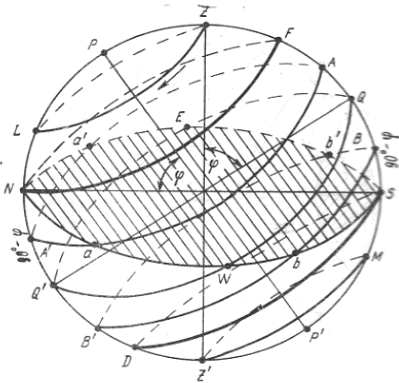


Рис. 19. Для спостерігача, який знаходиться в північній півкулі

Отже, для північної півкулі незахідними будуть зірки, схилення яких задовольняє умову

$$\delta \geq (90^\circ - \varphi). \quad (21)$$

Тепер проведемо добову паралель SD світила, яка в верхній кульмінації торкається небесного горизонту в точці півдня S . Усі зірки, добові паралелі яких розташовуються між паралеллю SD і південним полюсом світу P' , не будуть сходити над горизонтом точки з широтою φ (рис. 19). Добові паралелі зірок цієї групи будуть завжди розташовані над горизонтом, тобто зірки будуть несхідні. Але схилення зірки, яка в момент верхньої кульмінації торкається

небесного горизонту в точці півдня S , вимірюється дугою QS , тобто дорівнює $(90^\circ - \varphi)$.

Отже, для спостерігача, який знаходиться в північній півкулі, не східними будуть зірки, схилення яких задовольняє умову

$$\delta \geq - (90^\circ - \varphi). \quad (22)$$

Усі зірки, добові паралелі яких лежать між паралелями NF і SD , як із додатними, так і з від'ємними схиленнями, належать до третьої групи зірок – до східних і західних зірок. Зірка, добова паралель якої збігається з небесним екватором ($\delta = 0^\circ$), при обертанні небесної сфери двічі протягом доби перетинає небесний горизонт – у точках сходу E і заходу W . Небесний горизонт поділяє добову паралель такої зірки на дві рівні частини, а отже час знаходження її над горизонтом даної точки дорівнює часу знаходження під горизонтом.

Якщо схилення зірки додатне, то на більшій частині своєї добової паралелі ($\sphericalangle a'Aa$) вона знаходиться над горизонтом і на меншій ($\sphericalangle a'A'a'$) – під горизонтом. Така зірка сходить між точками півночі N і сходу E та заходить між точками заходу W і півночі N . Якщо ж схилення зірки від'ємне, то, навпаки, на меншій частині своєї добової паралелі ($\sphericalangle b'Bb$) вона знаходиться над горизонтом і на більшій ($\sphericalangle b'B'b'$) – під горизонтом. Зірка з від'ємним схиленням сходить між точками сходу E і півдня S та заходить між точками заходу W і півдня S .

Для того, щоби зірка в даній точці земної поверхні сходила і заходила, схилення її повинно задовольняти визначеним умовам. Із рис. 19 видно, що для спостерігача, який знаходиться у північній півкулі, східними і західними будуть зірки, в яких схилення задовольняє вимогу

$$-(90^\circ - \varphi) \leq \delta \leq + (90^\circ - \varphi). \quad (23)$$

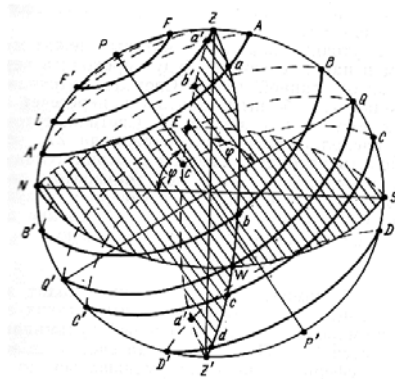
Усі світила двічі протягом доби проходять через небесний меридіан даної точки земної поверхні. Як нам відомо,

проходження світила через верхню частину меридіана називається верхньою кульмінацією, а через нижню частину меридіана – нижньою кульмінацією.

Якщо спостерігач знаходиться на земному екваторі, то всі світила верхню кульмінацію мають над горизонтом, а нижню – під горизонтом. Для спостерігача, який знаходиться в будь-якій точці земної поверхні між екватором і географічними полюсами, незахідні світила обидві кульмінації мають над горизонтом, несхідні – під горизонтом. Східні і західні світила верхню кульмінацію мають над горизонтом, нижню – під горизонтом. Для спостерігача, який знаходиться на одному з географічних полюсів Землі, світила кульмінацій мати не будуть, оскільки саме поняття небесного меридіана стає невизначеним.

Тепер розглянемо умову проходження світила через перший вертикал для спостерігача, який знаходиться в північній півкулі на широті φ .

На рис. 20 ми бачимо, що деякі світила, наприклад сві-



тила, які описують добові паралелі AA' , BB' , протягом доби двічі перетинають перший вертикал – у східній (в точках a' і b') та західній (в точках a і b) його частинах. Світила з добовими паралелями CC' , DD' також перетинають перший вертикал, але під горизонтом спостерігача.

Рис. 20. Проходження світил через перший вертикал

Деякі світила взагалі не проходять через перший вертикал, наприклад світило, яке описує добову паралель FF' .

Для з'ясування умов проходження світил через перший вертикал на рис. 20 проведемо добову паралель ZL світила, яка торкається першого вертикалу в точці зеніту Z . Згідно з рівнянням $\varphi = h_p = \delta_z$ схилення такого світила дорівнює географічній широті точки, тобто $\delta = \varphi$.

Усі світила, добові паралелі яких розташовані між небесним екватором і паралеллю ZL , будуть проходити перший вертикал над горизонтом даної точки. Світило, добова паралель якого збігається з небесним екватором, перетне перший вертикал в точках сходу E і заходу W . Світила, добові паралелі яких розташовуються вище паралелі ZL , через перший вертикал проходити не будуть. Світила з від'ємними схиленнями перетнуть перший вертикал під горизонтом даної точки.

Отже, для спостерігача в північній півкулі через перший вертикал над горизонтом місця спостереження пройдуть світила, схилення яких задовольняє умову

$$0^\circ < \delta < \varphi. \quad (24)$$

Якщо верхня кульмінація світила проходить на північ від зеніту, між зенітом і полюсом, то азимут таких світил змінюється так. Уже у верхній кульмінації, в точці F , азимут дорівнює 180° . Після переходу світила в західну половину небесної сфери він починає зменшуватися до точки, в якій світило досягає найбільшого кутового віддалення від північної частини меридіана. Після цього світило починає знову наближатися до меридіана, азимут його збільшується і в момент нижньої кульмінації досягає 180° . Після переходу в східну частину небесної сфери азимут світила продовжує зростати до точки найбільшого кутового віддалення від меридіана в східній частині небесної сфери. Потім азимут починає зменшуватися і в момент наступної верхньої кульмінації знову дорівнює 180° .

Положення світила, при яких воно досягає найбільшого кутового віддалення від північної частини меридіана,

називається елонгацією. В західній елонгації азимут світила має мінімальне значення, в східній – максимальне.

Для спостерігача в північній півкулі елонгацію мають світила, схилення яких задовольняє умову

$$\delta > \varphi. \quad (25)$$

2. Кульмінація світил

Спостереження зірок у меридіані, в моменти верхньої і нижньої кульмінацій, часто використовуються в геодезичній астрономії для визначення географічних координат пунктів земної поверхні, а також для визначення постійних приладу. Інструменти, які використовуються для польових астрономічних спостережень, як правило, мають розділені вертикальний і горизонтальний круги, які дозволяють

встановити інструмент за заданим азимутом і зенітною відстанню. Тому необхідно заздалегідь, звичайно з точністю до 1^m , прорахувати моменти кульмінацій світила і його горизонтні координати (z і A) для цих моментів із точністю до $1'$.

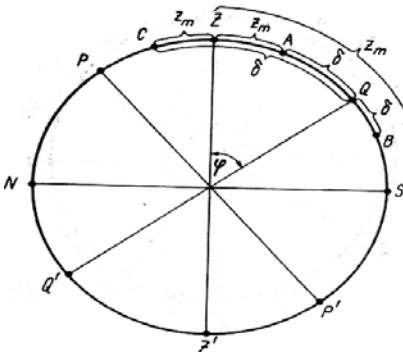


Рис. 21. До визначення горизонтних координат світила.

Зоряний час у моменти кульмінацій визначається на основі формул (6) і (7), вважаючи пряме сходження зірки відомим.

При визначенні горизонтних світила в кульмінаціях розглянемо три випадки для спостерігача, який знаходиться в північній півкулі.

1. Світило має верхню кульмінацію на південь від зеніту, між зенітом і південним полюсом світу P' , у точці A ($\varphi > \delta > 0^\circ$).

Із рис. 21 видно, що меридіанна зенітна відстань z_m світила вимірюється дугою ZA , схилення – дугою QA .

Отже,

$$z_m = \varphi - \delta. \quad (26)$$

На південь від зеніту кульмінують також світила, в яких $\delta < 0$. Якщо світило з від'ємним схиленням кульмінує в точці B , то зенітна відстань його вимірюється дугою ZB , схилення – дугою QB . Тому для визначення z_m отримаємо ту ж саму формулу:

$$z_m = \varphi + (-\delta) = \varphi - \delta.$$

Для зазначеного інтервалу схилень ($\varphi > \delta > -90^\circ$) азимут світил у верхній кульмінації дорівнює нулю.

2. Світило має верхню кульмінацію на північ від зеніту між зенітом і північним полюсом світу P , в точці C ($\delta > \varphi$).

У цьому випадку меридіональна зенітна відстань світила вимірюється дугою ZC , схилення – дугою QC .

$$z_m = \delta - \varphi. \quad (27)$$

Азимут таких світил у момент верхньої кульмінації дорівнює 180° .

3. Світило знаходиться в нижній кульмінації на північ від зеніту, в точці D ($90^\circ > \delta > -\varphi$).

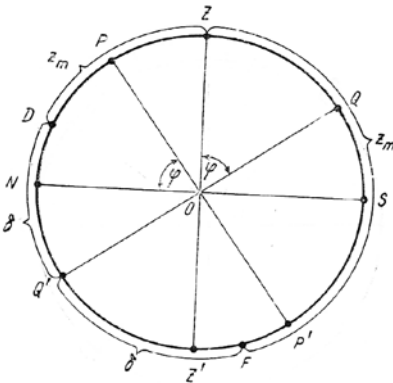


Рис. 22. Розташування світила в нижній кульмінації

На рис. 22 видно, що меридіанна зенітна відстань у цьому випадку вимірюється дугою ZD , а схилення – дугою $Q'D$.

Звідси випливає, що

$$z_m = 180^\circ - (\varphi + \delta). \quad (28)$$

Азимут світила дорівнює 180° .

Якщо світило має нижню кульмінацію на південь від надіру, між надиром Z' і південним полюсом світу P' в точці F , то його меридіональна зенітна відстань вимірюється дугою ZF , а схилення – дугою $Q'F$. Отже

$$z_m = 180^\circ + (\varphi + \delta). \quad (29)$$

Азимут такого світила в нижній кульмінації дорівнює нулю.

3. Схід і захід світил

Раніше ми встановили, що всі світила, схилення яких задовольняє умову (23), будуть сходити і заходити відносно горизонту точки земної поверхні з широтою $0^\circ < \varphi < 90^\circ$.

В моменти сходу і заходу світило знаходиться на горизонті місця спостереження, тому його висота $h = 0^\circ$, а зенітна відстань $z = 90^\circ$.

Для знаходження моментів сходу і заходу, а також азимутів точок сходу і заходу зірки σ побудуємо паралактичний трикутник $PZ\sigma$ (рис. 23), в якому сторона $Z\sigma$ буде дорівнювати 90° . Задача може бути розв'язана, якщо відомі широта φ точки спостереження і екваторіальні координати α і δ зірки σ .

Визначимо час сходу і заходу зірки, тобто s_E і s_W .

За формулою косинуса сторони $Z\sigma$ із трикутника $PZ\sigma$ будемо мати:

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

або

$$\sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos t = 0.$$

Звідси отримаємо

$$\cos t = -\operatorname{tg} \varphi \operatorname{tg} \delta. \quad (30)$$

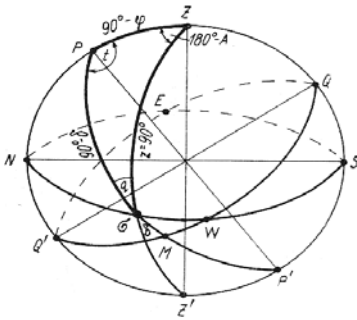


Рис. 23. Паралактичний трикутник

За формулою (5) моменти сходу s_E і заходу s_W світила будуть знайдені за формулами

$$s_E = \alpha - t; \quad s_W = \alpha + t. \quad (31)$$

Тепер визначимо азимуті зірки в моменти її сходу і заходу. За формулою косинуса сторони $P\sigma$ із паралактичного трикутника $PZ\sigma$ будемо мати $\cos(90^\circ - \delta) = \cos(90^\circ - \varphi)\cos 90^\circ + \sin(90^\circ - \varphi)\sin 90^\circ \cos(180^\circ - A)$, звідки отримаємо

$$\cos A = -\frac{\sin \delta}{\cos \varphi}. \quad (32)$$

За $\cos A$ знайдемо два значення азимута: перше відповідає сходу зірки і знаходиться в інтервалі $180^\circ < A < 360^\circ$, друге відповідає заходу зірки і лежить в інтервалі $0^\circ < A < 180^\circ$. Тому отримаємо

$$A_W = A; \quad A_E = 360^\circ - A. \quad (33)$$

4. Проходження світил через перший вертикал

Оскільки площина першого вертикалу перпендикулярна площині меридіана, то при проходженні через перший вертикал в його західній частині азимут зірки дорівнює 90° , а в східній – 270° .

На рис. 24 і 25 σ і σ' – положення зірки при проходженні через перший вертикал у західній і східній його частинах в північній півкулі.

Визначимо моменти проходження зірки через перший вертикал і її зенітну відстань в ці моменти. Розв'язуючи прямокутний паралактичний трикутник $PZ\sigma$, за правилом Непера – Модюї, отримаємо:

$$\cos t = \frac{\operatorname{tg} \delta}{\operatorname{tg} \varphi} \quad (34)$$

$$\cos z = \frac{\sin \delta}{\sin \varphi} \quad (35)$$

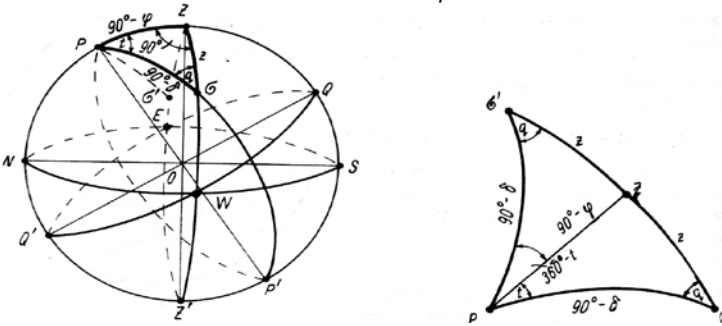


Рис. 24-25. Положення зірки при проходженні через перший вертикал.

За формулою (34) по $\cos t$ знаходимо два значення годинного кута t , що знаходяться в межах від 0 до $+12^{\text{h}}$ та від 0 до -12^{h} . Перше відповідає моменту проходження зірки через західну частину першого вертикалу, друге – через східну. Отже, час проходження через східну і західну частини першого вертикалу визначиться за формулами, аналогічними (31):

$$s_E = \alpha - t; \quad s_W = \alpha + t.$$

Оскільки рух зірок відносно меридіана симетричний, то зенітна відстань, визначена за формулою (35), буде однаковою для обох частин першого вертикалу. Спостереження світила в першому вертикалі часто використовується в геодезичній астрономії. Швидкість зміни зенітної віддалі в першому вертикалі максимальна, отож помилка в її вимірюванні має найменший вплив на годинний кут. Тому в способах визначення часу, основаних на вимірюванні

зенітних відстаней світил, зірки для спостережень вибирають поблизу першого вертикалу. Кількість зірок, що проходять через перший вертикал, при пересуванні спостерігача по земній поверхні від екватора до північного і південного географічних полюсів Землі поступово зростає, позаяк межі нерівності (24) з наближенням до полюсів розширюються.

При пересуванні спостерігача у зворотному напрямку, тобто від полюсів до земного екватора, кількість світил, що проходять перший вертикал, зменшується. Для спостерігача на земному екваторі жодне світило не проходить через перший вертикал.

5. Елонгація світил

Раніше ми встановили, що в північній півкулі елонгацію будуть мати зірки, схилення яких задовольняє умову (25).

В момент елонгації вертикал зірки торкається її добової паралелі і, отже, круг схилення і вертикал зірки будуть перпендикулярні один одному, тобто паралактичний кут q в трикутнику $PZ\sigma$ будуть дорівнювати 90° . (рис. 26)

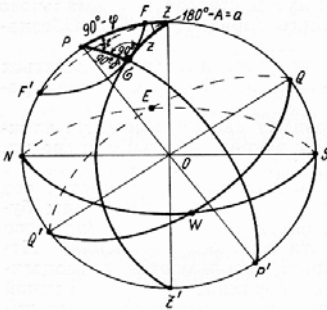


Рис. 26. Момент елонгації зірки

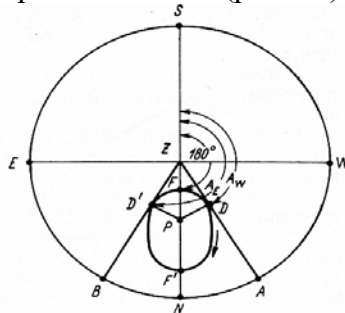


Рис. 27. Проекція небесної сфери

Для того, щоби більш наочно уявити собі зміни азимута елонгуючого світила, спроектуємо точки і круги небес-

ної сфери на площину небесного горизонту, вважаючи, що спостерігач знаходиться поза небесною сферою, з боку zenіту. Проекція небесної сфери зображена на рис. 27.

Простежимо зміни азимута зірки з просуванням її по добовій паралелі, проекція якої у вигляді овалу $FDF'D'$ зображена на рис. 27. У верхній кульмінації, в точці F , азимут зірки дорівнює 180° . Після проходження через меридіан, у міру просування по добовій паралелі в західній частині небесної сфери, азимут буде поступово зменшуватися. В точці D , в якій вертикал торкається добової паралелі, а круг схилення перпендикулярний до вертикалу, зірка досягає найбільшого відхилення від північної частини меридіана, а азимут – найменшого значення. Таке положення світила називається західною елонгацією. Азимут світила в західній елонгації, що вимірюється дугою горизонту SWA , позначимо A_W .

При подальшому русі азимут зірки поступово збільшується, зірка починає наближатися до меридіана й перетинає його в нижній кульмінації, в точці F' . Азимут її в цей момент буде знову дорівнювати 180° . Після нижньої кульмінації світило перейде в східну частину небесної сфери і буде знову віддалятися від меридіана до точки D' , при цьому азимут його продовжує збільшуватися. В точці D' зірка досягає найбільшого відхилення від меридіана. Це положення називається східною елонгацією світила. В східній елонгації азимут досягає максимального значення і вимірюється дугою небесного горизонту SWB . Позначимо його A_E .

Після східної елонгації азимут знову почне зменшуватися і в момент наступної верхньої кульмінації буде знову дорівнювати 180° .

Отже, ми бачимо, що азимут світил, які мають елонгацію, змінюється за більш складним законом, ніж азимут світил, що не мають елонгації.

Оскільки при елонгації зірок вертикал світил торкається його добової паралелі, зміни зенітної відстані зірки будуть пропорційні часу, а азимут протягом найбільшого проміжку часу залишається практично без змін. Тому спостереження зірок в елонгації використовується в геодезичній астрономії для визначення координат пунктів земної поверхні, а також для визначення деяких постійних інструменту.

Моменти і положення зірок в елонгація ми отримаємо, розв'язуючи прямокутний сферичний трикутник $PZ\sigma$ (рис. 26) за правилом Непера – Модюї, вважаючи в ньому сторони $PZ = 90^\circ - \varphi$ і $P\sigma = 90^\circ - \delta$ невідомими. Для спостерігача, який знаходиться в північній півкулі, отримаємо:

$$\cos t = \frac{tg \delta}{tg \varphi}, \quad (36)$$

$$\cos z = \frac{\sin \delta}{\sin \varphi}, \quad (37)$$

$$\sin \alpha = \frac{\cos \delta}{\cos \varphi}. \quad (38)$$

Моменти західної і східної елонгацій (s_W і s_E) знайдемо за формулами:

$$s_W = \alpha + t; \quad s_E = \alpha - t. \quad (39)$$

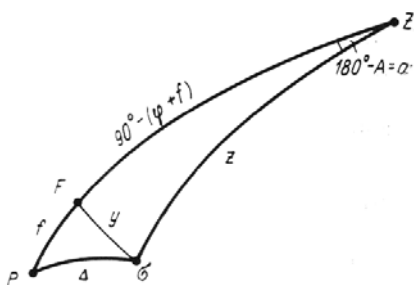
Щодо значення годинного кута аналогічні міркування, розглянуті вище.

Для отримання азимутів зірки, що відповідають моментам елонгацій в північній півкулі, потрібно для західної елонгації від 180° відрахувати кут α , який відповідає найбільшому відхиленню світила від північної частини меридіана, а для східної елонгації – додати кут α до 180° . Отже

$$A_E = 180^\circ + \alpha; \quad A_W = 180^\circ - \alpha. \quad (40)$$

6. Ефемериди Полярної зірки

Ефемеридами називаються таблиці, в яких через визначені рівновіддалені проміжки часу надаються коор-



динати світил. Для геодезичної астрономії велике практичне значення мають ефемериди зірок, в яких для ряду моментів, з точністю до 1' надаються значення зенітних відстаней і азимутів, обраних для спостереження зірок.

Рис. 28. Паралактичний трикутник

Ефемериди зірок складаються на період спостережень, для того щоби легко і швидко знаходити потрібну для спостережень зірку на небесній сфері.

При польових астрономічних визначеннях в північній півкулі для орієнтування інструменту в меридіані, для визначення широти пункту і азимута напрямку на земний предмет часто використовуються спостереження Полярної зірки. Тому розглянемо складання ефемериди саме цієї зірки.

Із Астрономічного календарю екваторіальні координати Полярної для 2022 р. дорівнюють:

$$\alpha = 2^{\text{h}} 56^{\text{m}} \text{ з точністю до } 1^{\text{m}},$$

$$\delta = +89^{\circ} 21' \text{ з точністю до } 1'.$$

Тому сторона $P\sigma = (90^{\circ} - \delta)$ в паралактичному трикутнику $PZ\sigma$ Полярної мала і дорівнює $39'$ (рис. 28). Паралактичний трикутник являє собою вузький сферичний трикутник. Для спрощення розв'язку проведемо дугу σF , перпендикулярну меридіану, поділимо його на два прямокутних сферичних трикутники: $PF\sigma$ і $FZ\sigma$.

Унаслідок малості сторони $P\sigma$ трикутник $PF\sigma$ малий, тому його можна розглядати і розв'язувати як плоский прямокутний трикутник. Позначимо дугу меридіана PZ через f , перпендикуляр до неї σF через y , а сторону $P\sigma$ – полярну відстань Полярної – через Δ . Обчислюючи ефеме-

риду, задамося рядом рівновіддалених моментів зоряного часу $s_1, s_2, s_3 \dots$, інтервал між якими звичайно дорівнює 10^m . Отже, в трикутнику $PF\sigma$ відомі сторона $P\sigma = \Delta$ і кут при полюсі, тобто годинний кут $t = s - \alpha$. Тому будемо мати:

$$f = \Delta \cos t, \quad (41)$$

$$y = \Delta \sin t. \quad (42)$$

У прямокутному сферичному трикутнику $FZ\sigma$ відомі два катети: $FZ = 90^\circ - (\varphi + f)$ і $F\sigma = y = \Delta \sin t$. Шуканими величинами є зенітна відстань z і кут α – відхилення Полярної від меридіана. Зенітна відстань Полярної, з точністю до $1'$, визначиться за формулою

$$z = 90^\circ - (\varphi + f). \quad (43)$$

Далі, за правилом Непера – Модної, отримаємо:

$$\cos(\varphi + f) = \operatorname{ctg} \alpha \operatorname{tg} y,$$

звідки

$$\operatorname{tg} \alpha = \operatorname{tg} y \operatorname{sec}(\varphi + f).$$

Унаслідок малості $\operatorname{tg} \alpha$ і $\operatorname{tg} y$, замінюючи їх першими членами розкладу тангенса в ряд і беручи до уваги формулу (42), отримаємо:

$$\alpha = \Delta \sin t \operatorname{sec}(\varphi + f). \quad (44)$$

Знайшовши α за формулою (44), азимут A Полярної обчислимо за формулою

$$A = 180^\circ \pm \alpha. \quad (45)$$

У формулі (45) знак плюс береться для моментів часу, що відповідають знаходженню Полярної в східній частині небесної сфери, знак мінус – у західній.

Для спрощення обчислення ефемериди Полярної, яка широко використовується при польових астрономічних визначеннях в Астрономічному календарі публікуються таблиці «Азимуту Полярної для різних широт і поправки до її висот» (АК на 2022 р., с. 186).

7. Диференціальні зміни зенітних відстаней і азимутів світил

Унаслідок добового обертання небесної сфери зенітні відстані і азимуті світил, які є функціями часу, безперервно змінюються. Тому горизонтні координати обчислюються для визначення моменту часу. Якщо відомі зміни горизонтних координат в кожному одиницю часу, то можна здійснювати спостереження обраної зірки не тільки в момент, для якого обчислені її горизонтні координати, але також у попередні й наступні моменти часу.

Для того щоби детально дослідити зміни горизонтних координат, отримаємо вирази похідних зенітної відстані й азимута за часом і їх значення у визначені моменти часу.

Залежність зенітної відстані від часу виражається формулами

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

$$t = s - \alpha \quad (46)$$

Зміни зенітної відстані за одиницю часу, з достатньою для практичних цілей точністю, може бути виражено як перша похідна зенітної відстані за часом або годинним кутом. Для обчислення цієї похідної продиференціюємо вхідні до формули (46) функції за змінними z , s і t , вважаючи постійними α , δ і φ :

$$-\sin z \, dz = -\cos \varphi \cos \delta \sin t \, dt$$

$$ds = dt \quad (47)$$

Оскільки за теоремою синусів

$$\cos \delta \sin t = \sin z \sin \alpha, \quad (48)$$

то, підставляючи рівняння (48) в (47) і скорочуючи на $-\sin z$, отримаємо

$$dz = \cos \varphi \sin \alpha \, dt, \quad (49)$$

звідки

$$\frac{dz}{dt} = \cos \varphi \sin \alpha$$

або, беручи до уваги, що $ds = dt$:

$$\frac{dz}{ds} = \cos\varphi \sin A. \quad (50)$$

Прирівнюючи похідну $\frac{dz}{ds}$ до нуля, приходимо до висновку, що зенітна відстань екстремальних значень досягає в меридіані, коли $A = 0^\circ$ або 180° . У верхній кульмінації вона має мінімальне значення, в нижній – максимальне. Швидкість зміни зенітної відстані в меридіані дорівнює нулю, тому в меридіані світило рухається паралельно горизонту.

При проходженні світила через перший вертикал ($A = 90^\circ$ або 360°) похідна $\frac{dz}{ds}$ досягає за абсолютною величиною максимального значення і має вигляд

$$\frac{dz}{ds} = \pm \cos \varphi. \quad (51)$$

У формулі (51) верхній знак відповідає проходженню світила через західну частину першого вертикалу, нижній знак – через східну. Із цієї формули також випливає, що в першому вертикалі всі зірки переміщуються в даному місці спостереження з максимальною і постійною для всіх зірок швидкістю.

Залежність азимута від часу може бути виражена формулою п'яти елементів:

$$-\sin z \cos A = \sin \delta \cos \varphi - \cos \delta \sin \varphi \cos t. \quad (52)$$

Продиференціюємо вхідні до формули (46) функції за змінними z , A , s і t . Вважаючи постійними α , δ і φ , отримаємо

$$-\cos z \cos A dz + \sin z \sin A dA = \cos \delta \sin \varphi \sin t dt. \quad (53)$$

Підставивши в рівняння (53) замість dz його значення за формулою (49), замість добутку $\cos \delta \sin t$ його вираз із (48) і поділивши на dt , отримаємо

$$\frac{dA}{dt} = \frac{\sin z \sin \varphi + \cos \varphi \cos z \cos A}{\sin z}. \quad (54)$$

Застосувавши формулу п'яти елементів до сторони $P\sigma = (90^\circ - \delta)$ і кут q паралактичного трикутника $PZ\sigma$ (див. рис. 16), отримаємо формулу

$$\cos \delta \cos q = \sin \varphi \sin z + \cos \varphi \cos z \cos A. \quad (55)$$

Права частина цього рівняння ідентична чисельнику формули (54), тому

$$\frac{dA}{dt} = \frac{\cos \delta \cos q}{\sin z}$$

або

$$\frac{dA}{ds} = \frac{\cos \delta \cos q}{\sin z}. \quad (56)$$

Оскільки у формулі (56) q і z безперервно змінюються, то безперервно змінюється і швидкість зміни азимуту. З формули випливає, що при $q = 90^\circ$, $\cos q = 0$ і похідна азимута за часом $\frac{dA}{ds} = 0$. Отже, при $q = 90^\circ$ азимут досягає своїх екстремальних значень, що відповідає найбільшому відхиленню зірки від меридіана, тобто її елонгації. В західній елонгації азимут має мінімальне значення, в східній – максимальне.

Паралактичний кут q світила, що має елонгацію, у верхній кульмінації дорівнює 180° ($\cos q = -1$), зенітна відстань мінімальна ($\sin z = \min$). Отже швидкість зміни азимуту у верхній кульмінації буде максимальною й дорівнюватиме

$$\frac{dA}{ds} = -\frac{\cos \delta}{\sin z}. \quad (57)$$

В нижній кульмінації зенітна відстань максимальна ($\sin z = \max$), і тому, швидкість зміни зенітної відстані буде менше, ніж у верхній кульмінації.

Якщо світило не має елонгації, то його азимут не має екстремальних значень, позаяк паралактичний кут q у таких світил завжди менше 90° . Тому похідна азимута за часом у таких світил завжди додатна, тобто азимут безперервно зростає. Для того щоби більш детально дослідити змі-

ни азимуту у світил, що не мають елонгації, надамо формулі (54) такий вигляд:

$$\frac{dA}{ds} = \sin\varphi + \cos\varphi \operatorname{ctg}z \cos A. \quad (58)$$

При проходженні через перший вертикал $A=90^\circ$ або 270° і, отже, формула (58) набуде такий вигляд:

$$\frac{dA}{ds} = \sin\varphi. \quad (59)$$

З цієї формули випливає, що швидкість зміни азимуту в першому вертикалі для даного пункту для всіх зірок постійна.

Оскільки в точках сходу і заходу $z = 90^\circ$, то і в цьому випадку другий член правої частини формули (58) буде дорівнювати нулю і, отже

$$\frac{dA}{ds} = \sin\varphi,$$

тобто похідні азимута за часом для положення світила в першому вертикалі і горизонті збігаються.

Із формули (58) випливає також, що у верхній кульмінації ($A=0^\circ$) другий член правої частини додатний і, отже, швидкість зміни азимута максимальна; в нижній кульмінації ($A=180^\circ$) другий член від'ємний і тому швидкість зміни азимута мінімальна.

Для підрахунку змін азимута і зенітної відстані за найбільші проміжки часу Δs у формулах (50) та (58) замінимо диференціали кінцевими змінами і виразимо їх в кутових мінутах:

$$\Delta z' = 15 \cos \varphi \sin A \Delta s^m, \quad (60)$$

$$\Delta A' = 15(\sin \varphi + \cos \varphi \operatorname{ctg} z \cos A) \Delta s^m. \quad (61)$$

Для першого вертикалу формули (60) і (61) набудуть вигляду:

$$\Delta z' = \pm 15 \cos \varphi \Delta s^m, \quad (62)$$

$$\Delta A' = 15 \sin \varphi \Delta s^m. \quad (63)$$

Вважаючи у формулах (60) – (63) $\Delta s = 1^m$, отримаємо зміни зенітної відстані і азимута за одну хвилину часу:

$$\Delta z' = \pm 15 \cos \varphi \sin A, \quad (64)$$

$$\Delta A' = 15 (\sin \varphi + \cos \varphi \operatorname{ctg} z \cos A). \quad (65)$$

Для першого вертикалу:

$$\Delta z' = \pm 15 \cos \varphi$$

$$\Delta A' = 15 \sin \varphi. \quad (66)$$

Формули (60) – (66) використовуються на практиці при обчисленні ефемерид для підрахунку приростків азимутів і зенітних відстаней. На підставі цих формул легко можуть бути складені таблиці, в яких надаються приростки азимута і зенітної відстані, що відповідають десятихвилинним інтервалам часу.

III. ВИМІРЮВАННЯ ЧАСУ

1. Загальні поняття про вимірювання часу в астрономії

Вимірювання часу є однією з найважливіших задач астрономії. При розгляді систем координат, що застосовуються в геодезичній астрономії, ми бачили, що горизонтні координати (z і A) світила, а також одна з координат (t) в першій екваторіальній системі є функціями часу і безперервно змінюються внаслідок видимого обертання небесної сфери. Тому при визначенні положення світила повинен бути зазначений момент часу, якого ці координати стосуються. Екваторіальні координати α і δ , а також екліптичні координати b і l від добового обертання не залежать, але з часом вони також змінюються під впливом факторів, які ми розглянемо в подальшому. Часто виникає необхідність визначити моменти часу, коли настане те або інше небесне явище, наприклад, схід і захід світил, елонгація, проходження через меридіан, молодик, сонячне або місячне затемнення і т. ін.

Для вимірювання часу необхідно встановити одиниці вимірювання і системи відліку часу. Одиниця вимірювання може бути обрана довільно, але вона повинна бути постійною і зручною для практичного використання. Якщо ж одиниця вимірювання непостійна, то має бути відома закономірність, з якою вона змінюється.

Знаючи цю закономірність, можна визначити і врахувати зміни величини прийнятої за одиницю вимірювання часу.

Для підрахунку одиниць часу необхідно мати спеціально налаштовані лічильники, робота яких повинна систематично контролюватися. Отже, будь-який процес, що періодично повторюється, може бути використаний для вимірювання часу. Тривалість одного або кількох періодів

цього процесу приймається за еталонну одиницю вимірювання часу.

Сьогодні для отримання еталонних одиниць часу використовуються такі періодичні процеси:

- обертання Землі навколо осі;
- обертання Землі навколо Сонця;
- електромагнітні коливання, що випромінюються або поглинаються атомами або молекулами декотрих речовин при переході з одного визначеного енергетичного стану в інший.

Життя людей тісно пов'язане з добовим обертанням Землі, тому саме цей процес використовується звичайно для отримання одиниці вимірювання так званого *всесвітнього часу*. Тривалість одного оберту Землі навколо осі називається *добою*. Отже, доба є одиницею міри всесвітнього часу; для вимірювання більш коротких проміжків вона поділяється на 24 години (h), година ділиться на 60 хвилин (m), хвилина – на 60 секунд (s), секунда на десяті, соті, тисячні частки і т.д.

Довгий час цей еталон часу вважався величиною постійною. В середині ХХ ст. вченими було експериментально доказано, що обертальний рух Землі нерівномірний, а отже, тривалість доби, що визначається як час, протягом якого Земля здійснює оберт навколо своєї осі, непостійна.

Швидкість обертання Землі навколо осі піддається змінам вікового, періодичного і нерегулярного характеру, зневажати якими при існуючій точності вимірювань ми не маємо права.

Оскільки обертання Землі навколо осі проявляється у видимому добовому обертанні небесної сфери, добу можна визначати як проміжок часу між двома послідовними проходженнями відповідної точки небесної сфери через один і той самий меридіан.

Доба являє собою порівняно короткий проміжок часу. Для вимірювання великих проміжків часу одиницею міри служить період обертання Землі навколо Сонця. Віддзеркаленням руху Землі навколо Сонця є видимий рух Сонця по екліптиці.

Проміжок часу між послідовними проходженнями центра Сонця через точку весіннього рівнодення називається *тропічним роком*. Тропічний рік є основною одиницею вимірювання великих проміжків часу і дорівнює 365,2422 середніх сонячних діб.

Проміжок часу, протягом якого центр Сонця у своєму видимому річному русі робить повний оберт навколо Землі і повертається в початкове положення відносно зірок називається *зоряним, або сидеричним роком*. Тривалість зоряного року 365,2564 середніх сонячних діб.

Крім тропічного і сидеричного років, у теорії руху Землі розглядається ще так званий *аномалістичний рік*: проміжок часу між послідовними проходженнями Землі через точку, в якій відстань від Сонця до Землі найменша, тобто через перигелій земної орбіти. Аномалістичний рік дорівнює 365,2596 середніх сонячних діб.

При побудові календарних систем, а також в теорії затемнень використовується одиниця вимірювання часу, яку називають *місяцем*. Тривалість місяця може бути кількох типів – синодичний, сидеричний, тропічний, аномалістичний.

Проміжок часу між двома послідовними однойменними місячними фазами дорівнює 29,5306 середніх сонячних діб, називається синодичним місяцем і має важливе значення при побудові календарних систем.

У теорії затемнень важливе значення має драконічний місяць – період часу між двома послідовними проходженнями Місяця через висхідний вузол його орбіти. Драконічний місяць дорівнює 27,2122 середніх сонячних діб.

Оскільки всілякий рух відносний, обидва види руху Землі – добовий і річний – можна спостерігати тільки відносно інших тіл або точок, що розташовані поза Землею та не беручих участь в її русі. Найбільш підходящою для цієї цілі була б нерухома точка, незмінно пов’язана з небесною сферою. Такої точки на небесній сфері немає, бо всі зірки мають власний рух, який ще вивчено недостатньо добре. Тому оберти Землі навколо осі відлічуються відносно точки весіннього рівнодення, центра істинного Сонця (центра того сонячного диска, який ми бачимо на небесній сфері) і середнього екваторіального Сонця (фіктивної точки, яка рівномірно рухається по екватору зі швидкістю, що дорівнює середній швидкості руху істинного Сонця по екліптиці). Це хоча й рухомі точки, але їх рух по небесній сфері добре вивчений, і положення для будь-якого моменту часу може бути визначено з високим ступенем точності.

Існує кілька систем вимірювання часу, які різняться вибором одиниці вимірювання і початку відліку. Розглянемо прийняті в астрономії системи вимірювання часу, вважаючи обертання Землі навколо осі рівномірним і не торкаючись впливу нерівномірності обертання Землі, передбачаючи що воно може бути враховано пізніше у вигляді особливої поправки.

2. Зоряний час

Рух по небесній сфері трьох точок, обраних нами для визначення тривалості доби, різний, отже й тривалість доби буде різною залежно від того, відносно якої точки ми будемо відлічувати оберти Землі навколо її осі.

Якщо при визначенні тривалості доби за точку, відносно якої відлічуються оберти Землі навколо осі, приймається точка весняного рівнодення γ , то одиниця часу, яку ми отримаємо, називається *зоряною добою*.

Рис. 29. Поняття про зоряний час

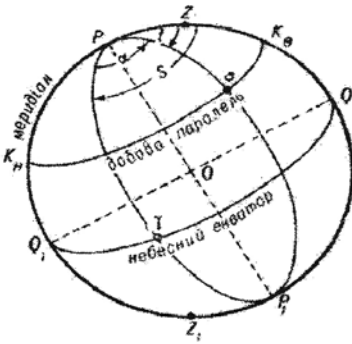


Рис.29. Поняття про зоряний час

За початок зоряної доби (0^h зоряного часу) приймається момент верхньої кульмінації точки весняного рівнодення. Тому зоряна доба може бути визначена як проміжок часу між двома послідовними верхніми кульмінаціями точки весняного рівнодення на меридіані даного пункту. Зоряна доба містить 24 зоряних години, зоряна година – 60 зоряних хвилин, а зоряна хвилина – 60 зоряних секунд.

Під час верхньої кульмінації точки весняного рівнодення її годинний кут дорівнює нулю, а зоряний час $0^h 0^m 0^s$.

Оскільки як точка весняного рівнодення постійно пов'язана з небесною сферою, то, не торкаючись поки впливу нерівномірності обертання Землі, можна вважати її добовий рух рівномірний. За кожен зоряну годину вона віддаляється від небесного меридіана даного пункту на 15° , а її годинний кут збільшується на 15° . Тому можна вважати, що годинний кут точки весняного рівнодення, виражений в годинній мірі, є мірою часу, яка пройшла від початку зоряної доби до заданого моменту.

Час, який пройшов від початку зоряної доби до будь-якого іншого моменту, що визначається положенням точки весняного рівнодення, виражений в зоряних годинах, хви-

Але ми не спостерігаємо обертання Землі безпосередньо, а спостерігаємо його відображення – видиме добове обертання небесної сфери. Воно призводить до періодичних проходжень через меридіан, тобто до кульмінацій будь-якої точки небесної сфери, у тому числі й точки весняного рівнодення.

линах і секундах, називається *зоряним часом* і позначається літерою s . Отже, будемо мати

$$s = t_\gamma, \quad (67)$$

тобто зоряний час чисельно дорівнює годинному куту точки весняного рівнодення, вираженому в годинній мірі.

Якщо годинний кут точки весняного рівнодення t_γ виражений в градусній мірі, то для отримання місцевого зоряного часу необхідно, користуючись співвідношеннями між градусними і годинними одиницями для вимірювання кутів, перевести градусний вираз t_γ в годинну міру.

Розглянемо принцип визначення місцевого зоряного часу. Точка весняного рівнодення на небесному зводі не відзначена і, отже, безпосередньому спостереженню недоступна. Але з рис. 29 видно, якщо зі спостережень у будь-який момент часу визначити годинний кут t зірки σ з відомим прямим сходженням α , то сума цих величин дасть нам годинний кут точки весняного рівнодення t_γ в даному пункті, що відповідає цьому моменту часу, тобто

$$t_\gamma = \alpha + t. \quad (68)$$

Отже, в будь-якій точці земної поверхні годинний кут світила разом з його прямим сходженням надає годинний кут точки весняного рівнодення для даного моменту часу.

Але $t_\gamma = s$, тому будемо мати

$$s = \alpha + t. \quad (69)$$

Із формули (69) випливає, що в будь-якій точці земної поверхні зоряний час в будь-який момент чисельно дорівнює сумі прямого сходження і годинного кута світила.

В момент верхньої кульмінації світила його годинний кут $t = 0$, звідки

$$s = \alpha, \quad (70)$$

тобто в момент верхньої кульмінації світила зоряний час чисельно дорівнює його прямому сходженню.

В момент нижньої кульмінації світила $t = 12^h$,

$$s = \alpha + 12^h, \quad (71)$$

тобто в момент нижньої кульмінації світила зоряний час чисельно дорівнює його прямому сходженню, збільшеному на 12^h . У випадку якщо у формулі (71) сума $\alpha + 12^h$ буде більше 24^h , то із правої частини формули (71) необхідно відрахувати 24^h .

Зоряний час зручний для використання його при астрономічних спостереженнях і при розв'язанні різних наукових задач.

Але користуватися зоряним часом в повсякденному житті і в деяких наукових дослідженнях незручно. Весь розпорядок життя людей узгоджується з видимим положенням Сонця на небесній сфері. Тоді як початок зоряної доби, тобто 0^h зоряного часу, припадає на різні моменти сонячної доби і буває то вдень, то вночі. Тому використання зоряного часу в повсякденному житті пов'язане з великими незручностями і в основі вимірювання часу в цьому випадку лежить вимірювання часу за Сонцем.

3. Істинний сонячний час

При вимірюванні часу за Сонцем точкою, відносно якої відлічуються оберти Землі навколо осі, вважається центр сонячного диска, котрий звичайно називають істинним Сонцем.

Проміжок часу між двома послідовними проходженнями через небесний меридіан даного пункта істинного Сонця називається *істинною добою*. До 1925 р. за початок істинної сонячної доби астрономами приймався момент верхньої кульмінації істинного Сонця. Це було зручно для астрономічних спостережень, але призводило до невідповідності з прийнятим у повсякденному житті рахунком дат, оскільки зміна дати припадала на полудень. Тому з 1 січня 1925 року за початок істинної сонячної доби приймається

момент нижньої кульмінації істинного Сонця на меридіані даного пункту, тобто істинна північ. У цей момент істинний сонячний час дорівнює $0^h 0^m 0^s$, а годинний кут істинного Сонця – 12^h .

Момент верхньої кульмінації істинного Сонця на меридіані даного пункту називається *істинним полуднем*. В цей момент годинний кут t_{\odot} істинного Сонця дорівнює нулю, а істинний сонячний час – 12^h .

Отже, *істинною добою* називається проміжок часу між істинними півночами. Істинна сонячна доба поділяється на 24 істинних години, істинна година містить 60 істинних хвилин, істинна хвилина – 60 істинних секунд.

Час, що пройшов від істинної півночі, тобто від 0^h істинного сонячного часу до будь-якого іншого моменту, виражене в істинних годинах, хвилинах і секундах, називається місцевим істинним сонячним часом і позначається літерою m_{\odot} . Мірою істинного сонячного часу є годинний кут t_{\odot} істинного Сонця, збільшений на 12^h .

Отже, в будь-який момент часу істинний сонячний час в даному пункті чисельно дорівнює годинному куту істинного Сонця, вираженому в годинній мірі, плюс 12^h , тобто

$$m_{\odot} = t_{\odot} + 12^h. \quad (72)$$

Таким чином, для визначення істинного сонячного часу в будь-який момент достатньо отримати зі спостережень в цей момент годинний кут істинного Сонця. Але годинний кут істинного Сонця змінюється непропорційно часу, тобто істинний сонячний час протикає нерівномірно, з кількох причин.

Згідно з першим законом Кеплера, річний рух Землі навколо Сонця відбувається по еліпсу, в одному із фокусів якого знаходиться Сонці (див. рис. 1). За другим законом Кеплера, секторальна швидкість руху Землі навколо Сонця нерівномірна: швидкість руху Землі досягає найбільшої величини при проходженні нею найбільш близької до Со-

ння точки її орбіти (перигелія); з найменшою швидкістю Земля рухається в протилежну перигелію, найбільш віддалену точку орбіти (в афелії).

У зв'язку з тим, що рух Сонця по небесній сфері, який ми спостерігаємо, є відображенням дійсного руху Землі навколо Сонця, то нерівномірність руху Землі по орбіті навколо Сонця викликає нерівномірність видимого руху Сонця по екліптиці. Коли Сонце знаходиться на найменшій відстані від Землі (в перигеї), швидкість його видимого переміщення по небесній сфері досягає найбільшої величини. Поступово зменшуючись, вона досягає мінімуму, коли Сонце знаходиться на найбільшій відстані від Землі (в апогеї).

Оскільки видимий річний рух Сонця спрямований з заходу на схід, тобто назустріч видимому добовому обертанню небесної сфери, то довгота Сонця безперервно зростає від 0 до 360° , але з різною швидкістю.

Через перигей Сонце проходить 2 січня кожного року, приріст його довготи в цей час досягає $61'$ за добу. Через діаметрально протилежну перигею точку – апогей – Сонце проходить 4 липня, довгота його в цей час за добу зростає тільки на $57'$. Внаслідок нерівномірності руху Сонця по екліптиці його годинні кути змінюються також нерівномірно.

Другою причиною нерівномірного протікання істинного сонячного часу є нахил небесного екватору до екліптики. Схилення Сонця протягом року змінюється в межах

$$-23^\circ 27' \leq \delta_{\odot} \leq +23^\circ 27'.$$

Унаслідок нахилу екліптики до екватору проекції однакових дуг екліптики на екватор не дорівнюють між собою. Тому годинні кути Сонця, які відраховуються по екватору, будуть змінюватися нерівномірно.

В результаті дії розглянутих вище двох факторів – нерівномірності видимого річного руху Сонця по екліптиці і

нахилу екватора до екліптики – тривалість істинної доби протягом року змінюється, при цьому різниця доходить до 50^s .

Отже, істинна сонячна доба не задовольняє основній вимозі, яка ставиться до одиниці вимірювання часу – вона непостійна, зимою вона довше, ніж літом. Для повсякденного життя в сучасних умовах необхідний більш точний час, ніж той, який може забезпечити істинне Сонце як безпосередній вимірювач часу.

4. Середній сонячний час

Для створення більш сучасної системи вимірювання часу за Сонцем введена система вимірювання часу за середнім екваторіальним Сонцем.

Для встановлення деякої точки небесної сфери, що замінює істинне Сонце, за допомогою якої можна було б встановити постійну одиницю вимірювання часу за Сонцем, застосуємо таку кінематичну побудову.

Уявимо собі фіктивну точку, яка рівномірно рухається по екліптиці зі швидкістю, що дорівнює середньої швидкості руху інтенсивного Сонця, який відповідає середньої швидкості руху Землі. Ця фіктивна точка називається *середнім екліптичним Сонцем*.

Середнє екліптичне Сонце одночасно з істинним Сонцем проходить через перигей і апогей. Так як в перигеї швидкість руху істинного Сонця максимальна, то після проходження через перигей воно випередить середнє екліптичне Сонце. З наближенням до апогею рух істинного Сонця уповільнюється і середнє екліптичне Сонце випередить істинне Сонце, але оскільки швидкість руху останнього з наближенням до перигею зростає, то через перигей вони знову пройдуть одночасно.

Для деякого інтервалу часу довгота середнього екліптичного Сонця дорівнює середній довготі істинного Сонця, тобто

$$l_{\text{сер. екл. } \odot} = (l_{\odot})_{\text{сер.}} \quad (73)$$

Але введення поняття «середнє екліптичне Сонце» ще не приводить нас до постійної одиниці часу, бо знімає тільки один із факторів, що викликає змінність одиниць часу, які вимірюються в істинних сонячних одиницях, а саме нерівномірність видимого руху Сонця по екліптиці.

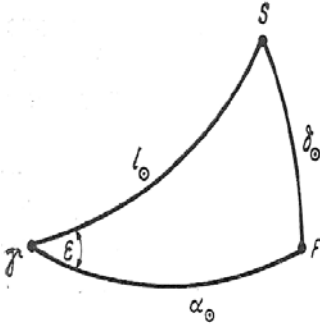


Рис. 30. Сферичний трикутник

Другий фактор, нахил екватора до екліптики, викликає нерівномірне зростання прямого сходження середнього екліптичного Сонця, а отже, нерівномірні зміни його годинного кута.

Насправді, із прямокутного сферичного трикутника γSF (рис. 30), утвореного від перетину дуг екватора γF , екліптики γS і круга схилення SF середнього екліптичного Сонця, за правилом Непера – Модню знаходимо:

$$\cos \varepsilon = \operatorname{ctg} l_{\text{сер. екл. } \odot} \operatorname{tg} \alpha_{\text{сер. екл. } \odot}. \quad (74)$$

$$\cos l_{\text{сер. екл. } \odot} = \cos \alpha_{\text{сер. екл. } \odot} \cos \delta_{\text{сер. екл. } \odot}, \quad (75)$$

де $l_{\text{сер. екл. } \odot}$, $\alpha_{\text{сер. екл. } \odot}$ і $\delta_{\text{сер. екл. } \odot}$ – відповідно довгота, пряме сходження і схилення середнього екліптичного Сонця.

Із виразу (74) маємо:

$$\operatorname{tg} \alpha_{\text{сер. екл. } \odot} = \operatorname{tg} l_{\text{сер. екл. } \odot} \cos \varepsilon. \quad (76)$$

Диференціюючи вираз (76) за змінними $\alpha_{\text{сер. екл. } \odot}$ і $l_{\text{сер. екл. } \odot}$, вважаючи ε постійною величиною, що дорівнює $23^{\circ}27'$, отримаємо

$$\frac{d\alpha_{\text{сер. екл. } \odot}}{d\cos^2 \alpha_{\text{сер. екл. } \odot}} = \frac{dl_{\text{сер. екл. } \odot}}{d\cos^2 l_{\text{сер. екл. } \odot}} \cos \varepsilon. \quad (77)$$

Підставляючи в (77) вираз $\cos l_{\text{сер. екл. } \odot}$ із (75), маємо:

$$\frac{d\alpha_{\text{сер.екл.}\odot}}{dt} = \frac{dl_{\text{сер.екл.}\odot}}{dt} \sec^2 \delta_{\text{сер.екл.}\odot} \cos \varepsilon. \quad (78)$$

Оскільки середнє екліптичне Сонце рухається по екліптиці рівномірно, зі швидкістю, що дорівнює середній швидкості руху істинного Сонця, то похідна $\frac{dl_{\text{сер.екл.}\odot}}{dt}$ є величиною постійною.

В праву частину формули (78) входить $\sec^2 \delta_{\text{сер.екл.}\odot}$. Оскільки схилення середнього екліптичного Сонця – величина змінна, то й швидкість зміни його прямого сходження, тобто похідна $\frac{d\alpha_{\text{сер.екл.}\odot}}{dt}$ теж величина змінна.

Таким чином, годинний кут середнього екліптичного Сонця, а отже, і час, що він визначає, будуть зростати нерівномірно.

Для того щоби виключити вплив фактору $\sec^2 \delta_{\text{сер.екл.}\odot}$, уявимо собі точку, яка рівномірно рухається по екватору. Ця фіктивна точка називається середнім екваторіальним Сонцем. Середнє екваторіальне Сонце зв'язано з середнім екліптичним визначеними умовами: рухаючись по екватору з тією ж швидкістю, з якою середнє екліптичне Сонце рухається по екліптиці, воно одночасно з ним проходить через точки весняного й осіннього рівнодення. Отже, пряме сходження середнього екваторіального Сонця завжди дорівнює довготі середнього екліптичного Сонця або середній довготі істинного Сонця, тобто

$$\alpha_{\text{сер. екл. } \odot} = l_{\text{сер. екл. } \odot} = (l_{\odot})_{\text{сер.}}. \quad (79)$$

Зі спостережень Сонця і планет за законами небесної механіки можна обчислити середнє збільшення довготи Сонця Δl_{\odot} за одиницю часу. Крім того можна визначити довготу середнього екліптичного Сонця для якого-небудь моменту часу t_0 . Знаючи величини Δl_{\odot} і $l_{\text{сер. екл. } \odot}$ для моменту t_0 , можна знайти довготу середнього екліптичного Сонця для будь-якого іншого моменту часу t . Тому для

будь-якого моменту часу взаємне розташування істинного Сонця і середнього екваторіального Сонця можуть бути визначені.

Позаяк середнє екваторіальне Сонце рухається по екватору, і при цьому рівномірно, годинні кути його, при умові, що вплив нерівностей в обертальному русі Землі до уваги не береться, зростає також рівномірно і, отже, воно цілком придатне для вимірювання часу.

Момент верхньої кульмінації середнього екваторіального Сонця на меридіані даного пункта називається *середнім полуднем*, момент нижньої – *середньою північчю*.

До 1925 року початком середніх сонячних діб вважався момент верхньої кульмінації середнього екваторіального Сонця, тобто середній південь. З 1 січня 1925 р. за зазначеними вище причинами за початок середніх сонячних діб брався момент нижньої кульмінації середнього екваторіального Сонця, тобто середня північ.

Проміжок часу між двома послідовними нижніми кульмінаціями середнього екваторіального Сонця на меридіані даного пункта називається *середньою сонячною добою*. Іншими словами, середня доба – це проміжок між послідовними середніми півночами.

Середня сонячна доба поділяється на 24 середні години, середня година містить 60 середніх хвилин, середня хвилина – 60 середніх секунд.

В момент нижньої кульмінації середнього екваторіального Сонця, тобто середню північ, середній сонячний час дорівнює $0^h 00^m 00^s$, а годинний кут середнього екваторіального Сонця – 12^h .

Час, який пройшов від початку середньої сонячної доби до будь-якого іншого моменту, виражений в середніх сонячних годинах, хвилинах і секундах, називається *середнім сонячним часом* і позначається літерою *t*.

Середній сонячний час чисельно дорівнює годинному куту середнього екваторіального Сонця ($t_{\text{сер. екв. } \odot}$) на даному меридіані виражено му в годинній мірі й збільшеному на 12^h , тобто

$$m = t_{\text{сер. екв. } \odot} + 12^h. \quad (80)$$

Гринвіцький середній сонячний час називається всесвітнім, або світовим, часом і позначається літерою M .

Якщо годинний кут середнього екваторіального Сонця на меридіані Гринвіча позначити через $T_{\text{сер.екв. } \odot}$, то

$$M = T_{\text{сер.екв. } \odot} + 12^h. \quad (81)$$

5. Вимірювання часу на різних меридіанах

Зоряний час s , істинний сонячний час m_{\odot} і середній сонячний час m у будь-якій точці земної поверхні називається відповідно місцевим зоряним, місцевим істинним сонячним і місцевим середнім сонячним часом цієї точки. В кожній точці земної поверхні рахується свій місцевий час. У точках розташованих на одному географічному меридіані, однойменний місцевий час (зоряний, істинний сонячний, середній сонячний), визначений в один і той самий фізичний момент, однаковий.

Розглянемо, чому дорівнює різниця однойменного місцевого часу, визначеного в один і той самий фізичний момент в двох пунктах A і B земної поверхні, розташованих на різних географічних меридіанах. Уявимо, що λ_A і λ_B – географічні довготи пунктів A і B , при цьому обидва пункти знаходяться на схід від гринвіцького меридіана.

Для визначення різниці місцевого часу скористаємося доведеною раніше теоремою (12), яка встановлює зв'язок між різницею довгот пунктів земної поверхні і різницею годинних кутів світила, які спостерігаються в цих пунктах в один і той самий фізичний момент часу:

$$t_A - t_B = \lambda_A - \lambda_B.$$

Застосовуючи цю формулу до годинних кутів точок, що використовуються для вимірювання часу, тобто до точки весняного рівнодення, до істинного Сонця, до середнього екваторіального Сонця, відносно яких відлічуються оберти Землі навколо осі й годинні кути яких є мірою часу, отримаємо:

$$\begin{aligned} t_{\gamma A} - t_{\gamma B} &= \lambda_A - \lambda_B, \\ t_{\odot A} - t_{\odot B} &= \lambda_A - \lambda_B, \end{aligned} \quad (82)$$

$$t_{\text{сер. екл. } \odot A} - t_{\text{сер. екл. } \odot B} = \lambda_A - \lambda_B.$$

Беручи до уваги, що $t_{\gamma} = s$, $t_{\odot} + 12^{\text{h}} = m_{\odot}$ і $t_{\text{сер. екл. } \odot} + 12^{\text{h}} = m$ та підставляючи ці рівняння до виразу (82), отримаємо такі формули:

$$\begin{aligned} s_A - s_B &= \lambda_A - \lambda_B \\ m_{\odot A} - m_{\odot B} &= \lambda_A - \lambda_B \\ m_A - m_B &= \lambda_A - \lambda_B \end{aligned} \quad (83)$$

Отже, різниця однойменного місцевого часу (зоряного, істинного сонячного або середнього сонячного), визначеного в один і той самий фізичний момент в двох різних пунктах земної поверхні, розташованих на різних меридіанах, чисельно дорівнює різниці географічних довгот цих пунктів, висловлених у годинній мірі.

Отримана нами формула (83) відіграє велику роль в геодезичній астрономії, особливо при довготних визначеннях.

З усіх земних меридіанів особливе місце в астрономії займає гринвіцький меридіан, прийнятий за початковий при відліку географічних довгот. Тому, на відміну від інших меридіанів, місцевий час гринвіцького меридіана позначається великими літерами, а саме:

- S – гринвіцький зоряний час;
- M_{\odot} – гринвіцький істинний сонячний час;
- M – гринвіцький середній сонячний час.

Оскільки видиме добове обертання небесної сфери відбувається за рухом годинникової стрілки, зі сходу на схід,

то якщо пункт земної поверхні розташований на схід від Гринвіча, його місцевий час (зоряний, істинний сонячний, середній сонячний) більше гринвіцького, при цьому різниця між місцевим і гринвіцьким часом тим більша, чим далі до заходу розташований пункт. І навпаки, якщо пункт розташований на захід від Гринвіча, то його місцевий час менше гринвіцького, при цьому різниця між ними тим більша, чим далі до заходу розташований пункт.

Уявимо, що точка B – Гринвіч ($\lambda = 0$), а точка A – пункт земної поверхні, розташований на будь-якому меридіані, крім гринвіцького. Тоді формули (83) набудуть вигляду:

$$\begin{aligned} s - S &= \pm \lambda \begin{array}{l} | E \\ | W \end{array} \\ m_{\odot} - M_{\odot} &= \pm \lambda \begin{array}{l} | E \\ | W \end{array} \\ m - M &= \pm \lambda \begin{array}{l} | E \\ | W \end{array} \end{aligned} \quad (84)$$

У цих формулах знак плюс відповідає довготам пунктів розташованих на схід від Гринвіча, знак мінус – до заходу від Гринвіча.

Із формул (84) випливає, що географічна довгота пункта від Гринвіча (в годинній мірі) дорівнює різниці місцевого і гринвіцького часу. Формули (84) мають велике практичне значення, бо надають принципову основу для визначення довгот пунктів від Гринвіча.

Формули (84) можуть бути також використані для знаходження гринвіцького часу, якщо відомі місцевий час і довгота пункта від Гринвіча:

$$\begin{aligned} S &= s \pm \lambda \begin{array}{l} | W \\ | E \end{array} \\ M_{\odot} &= m_{\odot} \pm \lambda \begin{array}{l} | W \\ | E \end{array} \\ M &= m \pm \lambda \begin{array}{l} | W \\ | E \end{array} \end{aligned} \quad (85)$$

На підставі зазначених вище міркувань і формул (85) можна зробити висновок, що для того щоби привести до згоди стрілки свого годинника з місцевим часом, людина, що рухається від Гринвіча на схід, повинна в міру свого пересування переводити їх вперед. Якщо б він рухався від Гринвіча на захід, то стрілки годинників йому довелося б переводити назад. На мисі Дежнева, час (зоряний, істинний сонячний, середній сонячний) приблизно на 12^h менший, ніж на Гринвічі. Але в той самий час на Алясці, яку відділяє від мису Дежнева лише Берингова протока, час на 12^h менше ніж на Гринвічі. Для мешканців Аляски день тільки розпочинається, а для мешканців Камчатки він уже закінчився. Виникає питання, де ж починається нова доба для Землі в цілому?

Домовилися, що лінія зміни межі дати проходить поблизу або точно по меридіану, розташованому на відстані 180° від меридіана Гринвіча. Починаючись біля північного полюсу, вона спочатку йде точно по меридіану 180° , потім ухиляється до сходу, огинає острів Врангеля і мис Дежнева, проходить через Берингову протоку, повертає на захід і по меридіану 180° доходить по Тихому океану до екватора; потім огинає зі сходу Нову Зеландію, знову повертає на захід і точно по меридіану 180° доходить до південного полюсу Землі. Отже, лінія зміни дати всюди проходить по поверхні морів і океанів, ніде не торкаючись суші.

Для тих, хто перетинає лінію зміни дати в напрямку з заходу на схід два дні поспіль вважають одну й ту саму дату. Наприклад, якщо лінія зміни дати перетиналась 15 жовтня, то на наступний день вважають також 15 жовтня. І навпаки при перетинанні лінії зміни дат у зворотному напрямку, тобто зі сходу на захід, один день в обчисленні доби пропускають, а отже, після 15 жовтня вважають зразу 17 жовтня.

6. Перехід від зоряного часу до середнього сонячного і навпаки

У попередніх параграфах ми встановили, що для вимірювання коротких проміжків часу в астрономії використовуються дві одиниці: зоряна доба, тобто проміжок часу між двома послідовними верхніми кульмінаціями точки весняного рівнодення на меридіані даного пункта, і середній сонячний час – проміжок часу між двома послідовними нижніми кульмінаціями середнього екваторіального Сонця на меридіані даного пункта.

Оскільки Сонце внаслідок свого видимого річного руху переміщується відносно зірок і відносно точки весняного рівнодення назустріч добовому обертанню небесної сфери, зоряна доба приблизно на 4^m коротше середньої сонячної доби. Розглянемо більш детально питання про різницю тривалості зоряної і середньої сонячних діб.

21 березня середнє екваторіальне Сонце проходить через точку весняного рівнодення γ . Отже, в цей день в точці земної поверхні A з зенітом Z_A (рис. 31) середнє екваторіальне Сонце і точка весняного рівнодення одночасно проходять через небесний меридіан $P Z_A P'$ у верхній кульмінації, тобто для цього меридіана

початок зоряної доби збігається з середнім полуднем. Після повного оберту Землі відносно точки весняного рівнодення (22 березня) ця точка знову припаде на меридіан $P Z_A P'$, у результаті цього закінчиться зоряна доба.

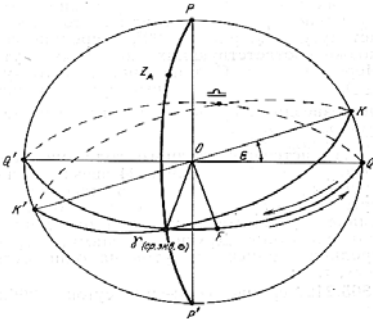


Рис. 31. Перехід часу

Унаслідок видимого річного руху, напрямок якого на рис. 31 вказаний стрілкою і протилежний напрямку добового обертання небесної сфери, Сонце за цю добу відійде від точки весняного рівнодення на дугу γF , що дорівнює приблизно $1^\circ (\frac{360}{365,2422})$. Тому в момент закінчення зоряної доби Сонце буде знаходитися від меридіана $P Z A P'$ на відстані $\sphericalangle F\gamma$. Щоби прийшов новий середній полудень, небесна сфера повинна повернутися на кут γOF , який відповідає дузі, пройденої середнім екваторіальним Сонцем за добу. Отже, середня сонячна доба довше, від зоряної на проміжок часу, який необхідний небесній сфері, щоби повернутися на кут γOF , що вимірює відходження Сонця від точки весняного рівнодення за одну добу.

Оскільки середнє екваторіальне Сонце рухається по екватору рівномірно, то очевидно, що через чверть року воно пройде дугу γQ , яка дорівнює 90° , і середня сонячна доба закінчиться пізніше відповідної зоряної доби на 6 зоряних годин. Через півроку Сонце прийде в точку осіннього рівнодення (Ω), і середня сонячна доба закінчиться пізніше відповідної зоряної доби на 12 зоряних годин, тобто на $\frac{1}{2}$ зоряної доби.

По закінченні повного року запізнення середнього екваторіального Сонця буде дорівнювати 24 зоряним годинам, тобто одній зоряній добі. Таким чином протягом одного тропічного року середнє екваторіальне Сонце буде кульмінувати на меридіані даної точки на один раз менше, ніж точка весняного рівнодення. Іншими словами, в тропічному році міститься середніх сонячних діб на одну добу менше, ніж зоряних, тобто:

365,2422 середніх сонячних діб = 366,2422 зоряних діб, (86)
звідси

$$1 \text{ середня сонячна доба} = \left(\frac{365,2422+1}{365,2422} \right) \text{ зоряних діб,}$$

або

$$1 \text{ середня сонячна доба} = (1+\mu) \text{ зоряних діб}, \quad (87)$$

$$\text{де } \mu = \frac{1}{365,2422} = 0,00274.$$

Отже, середня сонячна доба довше від зоряної на 0,00274 зоряних діб, або на $3^m 56^s,555$ (зоряних одиниць), тобто

$$1 \text{ середня сонячна доба} = 24^h + 3^m 56^s,555 = 24^h 03^m 56^s,555 \text{ зоряних одиниць часу.}$$

Аналогічно на підставі рівняння (87) маємо:

$$\begin{aligned} 1 \text{ середня сонячна година} &= 1^h 00^m 09^s,856 \text{ зоряних одиниць часу,} \\ 1 \text{ середня сонячна хвилина} &= 1^m 00^s,164 \text{ зоряних одиниць часу,} \\ 1 \text{ середня сонячна секунда} &= 1^s,003 \text{ зоряних одиниць часу.} \end{aligned} \quad (88)$$

Загалом t середніх сонячних одиниць часу містить $t(1+\mu)$ зоряних одиниць часу. Позначивши проміжок часу, виражений у зоряних одиницях, через s , а той самий проміжок, виражений в середніх сонячних одиницях, через t , отримаємо формулу переходу від середніх одиниць часу до зоряних:

$$s = t(1+\mu) = t + t\mu. \quad (89)$$

Добуток $t\mu$ називається редукцією за перехід від середніх одиниць до зоряних.

Отже, для переведення проміжку часу, вираженого в середніх сонячних одиницях, в зоряні, необхідно до нього додати редукцію $t\mu$. В результаті ми отримаємо той самий проміжок часу, але виражений в зоряних одиницях.

Редукція $t\mu$ вибирається по аргументу середнього сонячного часу із табл. 47, с. 189, астрономічного календаря за 2022 рік.

Для зворотного переходу, тобто для переведення проміжку часу, вираженого в зоряних одиницях, в середні сонячні одиниці, напишемо рівняння (86), помінявши місцями його праву і ліву частини:

$$366,2422 \text{ зоряних діб} = 365,2422 \text{ зоряних сонячних діб}, \quad (90)$$

звідки

1 зоряна доба = $\left(\frac{366,2422-1}{366,2422}\right)$ середніх сонячних діб

або

1 зоряна доба = $(1 - v)$ середніх сонячних діб, (91)

де $v = \frac{1}{366,2422} = 0,00273$.

Із рівняння (91) випливає, що одна зоряна доба коротше від середньої сонячної доби на 0,00273 середніх сонячних діб, тобто на $3^m 55^s,909$ середніх сонячних одиниць часу, тобто

1 зоряна доба = $24^h - 3^m 55^s,909 = 23^h 56^m 04^s,091$ середніх сонячних одиниць часу.

Аналогічно, на підставі рівняння (91), отримаємо:

1 зоряний час = $(1^h - 9^s,830) = 59^m 50^s,170$ середніх сонячних одиниць часу;

1 зоряна хвилина = $(1^m - 0^s,164) = 59^s,836$ середніх сонячних одиниць часу;

1 зоряна секунда = $(1^s - 0^s,003) = 0^s,997$ середніх сонячних одиниць часу. (92)

Взагалі s зоряних одиниць часу містить $(1 - v) s$ середніх сонячних одиниць часу. Тому формула для переведення проміжків часу, виражених у зоряних одиницях, у середні сонячні буде мати вигляд:

$$m = s(1 - v) = s - sv. \quad (93)$$

Похідна sv називається редукцією за перехід від зоряних одиниць часу до середніх. Для переведення проміжку часу, вираженого в зоряних одиницях, в середні сонячні, потрібно від нього вирахувати редукцію sv . В результаті ми отримаємо той самий проміжок часу, але виражений в середніх сонячних одиницях.

Для обчислення редукції sv зручно користуватися табл. 47 астрономічного календаря, в якій вона подається за аргументом зоряного часу s .

Приклад

на переведення проміжків часу, виражених в середніх сонячних одиницях в зоряні і навпаки.

1. Проміжок часу $t = 13^h 36^m 14^s,291$, заданий в одиницях середнього сонячного часу, виразити в одиницях зоряного часу.

Для обчислення редуції m_μ зручно користуватися табл. 47, с. 189, астрономічного календаря за 2022 рік, в яких вона подається за аргументом середнього сонячного часу.

В табл. 47 за аргументом t знаходимо редуцію m_μ :

13^h	$2^m 08^s,1$
36^m	$5^s,9$
14^s	$0,0$
$0^s,291$	$0,0$

$$m_\mu = 2^m 14^s,0$$

$$\text{Отже, } s = 13^h 36^m 14^s,291 + 2^m 14^s,0 = 13^h 38^m 28^s,291$$

2. Проміжок часу $s = 8^h 21^m 54^s,39$, заданий в зоряних одиницях, виразити в середніх сонячних одиницях.

Для обчислення редуції sv зручно користуватися табл. 47, с. 189, астрономічного календаря за 2022 рік, в яких вона подається за аргументом зоряного часу.

В табл. 47 за аргументом s знаходимо редуцію sv :

8^h	$1^m 18^s,6$
21^m	$3^s,43$
54^s	$0^s,15$
$0^s,39$	$0,00$

$$sv = 1^m 22^s,18$$

$$\text{Отже } t = 8^h 21^m 54^s,39 - 1^m 22^s,18 = 8^h 20^m 32^s,21$$

Якщо б зоряна і середня сонячна доба починалася в один і той самий момент, тобто 0^h середнього сонячного часу було б 0^h зоряного часу, то для переходу від середнього сонячного часу до зоряного і навпаки можна було б користуватися формулами (89) і (90). Але в 0^h середнього

сонячного часу, тобто в момент початку середньої сонячної доби, зоряний час не дорівнює 0^h ; з іншого боку, в 0^h зоряного часу, тобто на початку зоряної доби, середній сонячний час також не дорівнює 0^h .

Маючи на увазі ці обставини, отримаємо формулу для переходу від середнього сонячного часу t до зоряного s :

$$s = s_0 + t + t\mu, \quad (94)$$

де через s_0 позначено зоряний час в 0^h середнього сонячного часу, тобто в місцеву середню північ; t – проміжок часу, який пройшов від півночі до моменту t ; $t\mu$ – редукція цього проміжку в зоряні одиниці.

Стосовно Гринвіча формула (94) буде мати вигляд:

$$S = S_0 + M + M\mu. \quad (95)$$

В цій формулі S – зоряний гринвіцький час, який відповідає даному моменту всесвітнього часу M ; S_0 – зоряний час в середню гринвіцьку північ, тобто в 0^h всесвітнього часу; $M\mu$ – редукція всесвітнього часу в зоряні одиниці.

Величина S_0 обчислюється за формулою

$$S_0 = \alpha_{\text{сер. екл. } \odot} + 12^h \quad (96)$$

і для кожного дня року публікується в астрономічному календарі. Оскільки північ настає не одночасно на всіх земних меридіанах, то зоряний час s_0 опівночі в різних точках земної поверхні неоднаковий тому, s_0 відрізняється від S_0 .

Обравши для відповідної дати з астрономічного календаря зоряний час S_0 в середню гринвіцьку північ, зоряний час s_0 в місцеву північ знайдемо за формулою

$$s_0 = S_0 \pm \lambda\mu. \quad (97)$$

Насправді, зоряний час в північ за добу, тобто за 24^h середнього сонячного часу, збільшується на величину $24^h\mu$, тобто на $3^m56^s,555$. Отже, за проміжок часу, що дорівнює λ , зоряний час в північ s_0 збільшиться на величину, яка дорівнює $\lambda\mu$. Якщо точка земної поверхні з довготою λ знаходиться на заході від Гринвіча, то північ в цій точці

настане пізніше, ніж в Гринвічі. Як наслідок, зоряний час в місцеву північ s_0 буде більше зоряного часу в гринвіцьку північ S_0 . Тому в цьому випадку поправка λ_μ у формулі (97) буде зі знаком плюс.

Якщо ж точка земної поверхні знаходиться на сході від Гринвіча, то північ в ній наступить раніше, ніж в Гринвічі, тому $s_0 < S_0$, тобто поправка λ_μ в формулу (97) увійде зі знаком мінус.

Отже, для того щоби знайти зоряний час в місцеву північ в пункті з довготою λ достатньо проінтерполювати $3^m 56^s,555$ на інтервал, що чисельно дорівнює λ . Для обчислення поправки λ_μ зручно користуватися табл. 47 астрономічного календаря, в яких вона знаходиться за аргументом λ .

Після обчислення s_0 за формулою (97) місцевий зоряний час знаходять за формулою (94).

Приклад

на обчислення зоряного часу в місцеву середню північ.

Визначити зоряний час s_0 в місцеву північ 1 липня 2022 р. в пункті з довготою $\lambda_E = 2^h 09^m 32^s,2$.

Із таблиці 1 «Ефемериди Сонця та Місяця» астрономічного календаря на 2022 р. (с. 44) для 1 липня 2022 р. виписуємо:

$$S_0 = 18^h 36^m 08^s,0.$$

За табл. 47 астрономічного календаря знаходимо поправку λ_μ на довготу:

2^h	$0^m 19^s,7$
9^r	$1^s,5$
32^s	$0^s,1$
$0^s,2$	$0,0$

$$\lambda_\mu = 21^s,3$$

Отже, зоряний час опівночі 1 липня 2022 р. в пункті з довготою $\lambda_E = 2^h 09^m 32^s,2$ буде дорівнювати:

$$s_0 = 18^h 36^m 08^s,0 - 21^s,3 = 18^h 35^m 46^s,7.$$

Перехід від місцевого середнього сонячного часу t до місцевого зоряного s може бути здійснений з використанням гринвіцького часу за формулою (95), якщо попередньо за третьою формулою (85) перейти від місцевого середнього сонячного часу t до всесвітнього M . Після отримання гринвіцького зоряного часу потрібно перейти до місцевого зоряного часу за формулою

$$s = S \pm \lambda \begin{matrix} | E \\ | W. \end{matrix} \quad (98)$$

Розглянемо тепер питання про перехід від зоряного до середнього сонячного часу. Позначимо середній сонячний час в момент початку зоряної доби через m_o , тоді формула (93) перетвориться в потрібну нам формулу переходу від зоряного часу до середнього сонячного:

$$t = m_o + s - sv. \quad (99)$$

Для Гринвіча ця формула набуде вигляд:

$$M = M_o + S - Sv, \quad (100)$$

де M_o – всесвітній час в 0^h зоряного гринвіцького часу. Величина M_o для кожних зоряних діб до 1960 р. публікувалась в астрономічному щорічнику і до сьогодні публікується в деяких іноземних щорічниках. Оскільки в тропічному році зоряних діб міститься на одну добу більше, ніж середніх сонячних, то величин M_o буде на одну більше, ніж S_o . Оскільки середня сонячна доба приблизно на 4^m довше зоряних, то в будь-яку календарну дату момент 0^h зоряного часу трапляється двічі – на початку і в кінці середніх сонячних діб. Тому два значення всесвітнього часу будуть відповідати 0^h зоряного часу.

Зірки, прямі сходження яких близькі до 0^h , будуть в цю дату двічі проходити через меридіан поблизу зеніту, тобто будуть мати подвійну верхню кульмінацію. Для інших зірок, прямі сходження яких не близькі до нуля, подвійна верхня кульмінація відбудеться в другу календарну дату. Така дата для зірок має назву критичної.

Кожна зірка має свою критичну дату, яка залежить від величини її прямого сходження. В критичну дату зірки мають подвійну верхню кульмінацію: першу – одразу після опівночі, другу – близько наступної опівночі.

Критичну дату для тієї чи іншої зірки легко визначити, бо в цю дату пряме сходження зірки не повинно відрізнятися від зоряного часу в опівночі більше ніж на $3^m 56^s,555$.

Оскільки величини M_o тепер не публікуються в астрономічному щорічнику, то період місцевого зоряного часу в середній сонячній обчислюється за формулою

$$m = (s - s_o) - (s - s_o)v. \quad (101)$$

Тут різниця $(s - s_o)$ – проміжок часу, що пройшов від 0^h середнього сонячного часу, тобто місцевої опівночі, до заданого моменту s , виражений в зоряних одиницях часу. Для того щоби отримати середній сонячний час m , залишається тільки виразити цей проміжок часу в середніх сонячних одиницях, тобто відрахувати редуцію $(s - s_o)v$. Позаяк інтервал, який відлічується від середньої опівночі й виражений у середніх сонячних одиницях часу, є середнім сонячним часом m , приходимо до формули (101). Зоряний час s_o в місцеву середню північ обчислюється за формулою (97).

Для Гринвіча формула (101) запишеться у вигляді

$$M = (S - S_o) - (S - S_o)v. \quad (102)$$

Ця формула також може бути використана для переходу від місцевого зоряного часу до середнього сонячного, якщо попередньо за формулою (85) перейти від місцевого зоряного часу s до гринвіцького S . Після отримання всесвітнього часу M до місцевого середнього сонячного часу m переходять за формулою

$$m = M \pm \lambda \mid W \quad (103)$$

| E.

Зазначимо, що нерівномірність обертання Землі однаково відображується на тривалості як середніх сонячних, так і зоряних одиниць часу. Отже, їх співвідношення не залежать від нерівномірності обертання Землі.

Приклади

на перехід від місцевого середнього сонячного часу до зоряного і навпаки.

1. Визначити момент місцевого зоряного часу s , яке відповідає моменту місцевого середнього сонячного часу $m = 17^h 32^m 13^s,67$ 20 жовтня 2022 р. в пункті з довготою $\lambda_E = 2^h 09^m 32^s,2$.

Для визначення моменту зоряного часу s , який відповідає місцевому середньому часу m , для конкретної дати (року, місяця, дня) потрібно до зоряного часу s_o в місцеву північ додати проміжок часу від півночі до заданого моменту m , виражений у зоряних одиницях.

Формули для переходу будуть мати вигляд:

$$s = s_o + m + m\mu,$$

де

$$s_o = S_o - \lambda_E\mu.$$

Зазначену задачу можна розв'язати також з переходом на Гринвіч за формулами:

$$M = m - \lambda_E,$$

$$S = S_o + M + M\mu,$$

$$s = S_o + \lambda_E.$$

Для розв'язання задачі за першою групою формул (без переходу на Гринвіч) виписуємо з астрономічного календаря зоряний час S_o в гринвіцьку північ для 20 жовтня 2022 р. Потім знаходимо s_o , редукуємо місцевий середній час m в зоряні одиниці і, нарешті, додавши s_o , m та $m\mu$, знаходимо s :

S_o	1 ^h 53 ^m 46 ^s ,0
$-\lambda_E\mu$	21 ^s ,22
s_o	1 ^h 53 ^m 24 ^s ,78
m	17 ^h 32 ^m 13 ^s ,67
$m\mu$	2 ^m 52 ^s ,69
s	19 ^h 28 ^m 31 ^s ,14

Для розв'язання задачі за другою групою формул, знаходимо всесвітній час M і редукуємо його в зоряні одини-

ці. Додавши S_o , M , та $M\mu$, знаходимо гринвіцький зоряний час S . Додавши до S довготу λ_E , знайдемо місцевий зоряний час s .

t	$17^h 32^m 13^s,67$
$-\lambda_E$	$2^h 09^m 32^s,2$
M	$15^h 22^m 41^s,47$
$M\mu$	$2^m 31^s,47$
S_o	$1^h 53^m 46^s,0$
S	$17^h 18^m 58^s,94$
$+\lambda_E$	$2^h 09^m 32^s,2$
s	$19^h 28^m 31^s,14$

2. Визначити момент місцевого середнього сонячного часу t , який відповідає моменту місцевого зоряного часу $s = 9^h 08^m 38^s,19$ 25 жовтня 2022 р. в пункті з довготою $\lambda_E = 2^h 09^m 32^s,2$.

Для визначення моменту місцевого середнього сонячного часу t за заданим моментом зоряного часу s , необхідно знайти проміжок часу від зоряного часу в місцеву середню сонячну північ до зоряного часу s в заданий момент, тобто обчислити різницю $s - s_o$ і виразити її в одиницях середнього часу. В результаті шуканий середній сонячний час t ми отримаємо за формулою

$$t = (s - s_o) - (s - s_o)v,$$

де

$$s_o = S_o - \lambda_E\mu.$$

Із переходом на Гринвіч ця задача розв'язується за формулами

$$\begin{aligned} S &= s - \lambda_E, \\ M &= (S - S_o) - (S - S_o)v, \\ t &= M + \lambda_E. \end{aligned}$$

Для розв'язання задачі за першою групою формул виписуємо з астрономічного календаря зоряний час S_o в гринвіцьку північ для 25 жовтня 2022 р., переходимо до s_o , знаходимо проміжок від місцевої опівночі до заданого мо-

менту, тобто $(s - s_o)$ і, виразивши його в середніх одиницях, отримаємо m :

S_o	$2^h 13^m 28^s,0$
$-\lambda\mu$	$21^s,22$
s_o	$2^h 13^m 06^s,78$
s	$9^h 08^m 38^s,19$
$s - s_o$	$6^h 55^m 31^s,41$
$-(s - s_o)v$	$01^m 08^s,04$
m	$6^h 54^m 23^s,37.$

Для розв'язання задачі за другою групою формул (з переходом на Гринвіч) знаходимо гринвіцький зоряний час S і різницю $S - S_o$. Виразимо цю різницю в середніх одиницях і, додавши до M довготу пункту, отримаємо місцевий середній час m .

s	$9^h 08^m 38^s,19$
$-\lambda$	$2^h 09^m 32^s,2$
S	$6^h 59^m 05^s,99$
S_o	$2^h 13^m 28^s,0$
$S - S_o$	$4^h 45^m 37^s,99$
$-(S - S_o)v$	$0^m 46^s,82$
M	$4^h 44^m 51^s,17$
λ_E	$2^h 09^m 32^s,2$
m	$6^h 54^m 23^s,37$

7. Поясний і декретний час

З астрономічних спостережень ми отримаємо місцевий час того меридіана, на якому здійснені спостереження. Місцевий час може бути зоряним, істинним сонячним і середнім сонячним. Для всіх точок, розташованих на одному географічному меридіані, будь-який місцевий час в один і той же момент однаковий. Для точок, які розташовані на різних меридіанах, різниця їх однойменного місцевого часу в один і той самий момент визначається за формулами

(83). Але різниця місцевого часу, зокрема середнього сонячного часу, на різних меридіанах створює великі незручності в практичному використанні середнього сонячного часу, особливо на транспорті.

У міжнародних відносинах для публікації більшості астрономічних явищ в астрономічних календарях, а також в багатьох наукових дослідженнях широко використовується всесвітній час. Але введення всесвітнього часу на всій земній кулі для повсякденного життя викликало б суперечність із самою природою, позаяк на меридіанах, віддалених від гринвіцького на значні відстані, години дня не відповідали б положенню Сонця над горизонтом.

Для усунення цих незручностей в кінці ХІХ ст. у багатьох державах був введений так званий поясний час.

При поясному рахунку часу вся земна куля уявно поділена географічними меридіанами через 15° по довготі на 24 годинних пояси. В усіх пунктах земної поверхні, розташованих в межах даного поясу, в один і той самий фізичний момент вважається один той же час: середній сонячний час осьового меридіана цього поясу. Відлік осьових меридіанів починається від гринвіцького меридіана, який є водночас осьовим меридіаном нульового поясу. Перший на схід від Гринвіча годинний пояс має номер 1 і довгота його осьового меридіана дорівнює 15° (або одній годині). Другий до сходу від Гринвіча годинний пояс має номер 2 і довгота його осьового меридіана дорівнює 30° (або двом годинам) і т.д.

При перетині меж годинних поясів поясний час змінюється рівно на одну годину, хвилини ж і секунди протягом всіх годинних поясів зберігаються одними й тими ж, при цьому відповідають хвилинам і секундам всесвітнього часу M .

Таким чином, система поясного обчислення часу усуває незручності, що виникають при використанні в повсякденному житті як місцевого, так і всесвітнього часу.

Теоретично межі годинних поясів повинні проходити по географічних меридіанах, на віддалі від осьового $7^{\circ}30'$ або 30^m по довготі на схід і захід. Але насправді вони проводяться не точно по цих меридіанах, а відповідно до державних, адміністративних і політичних меж, по річках, гірських хребтах, залізницях. Точно за вказаними меридіанами межі годинних поясів проходять тільки по морях, океанах, у незаселених районах.

При поясному визначенні часу за початок доби береться північ осьового меридіану даного поясу. Якщо позначити поясний час, що відповідає поясному часу з номером n , через T_n , а нульовому поясу – через M (всесвітній час), то очевидно, що

$$T_n = M + n. \quad (104)$$

Різниця поясних годин двох пунктів земної поверхні, які знаходяться в годинних поясах з номерами n і m , дорівнює різниці їх годинних поясів і являє собою завжди ціле число, тобто кількість годин:

$$T_n - T_m = n - m,$$

звідси

$$T_m = T_n - (n - m). \quad (105)$$

В 1930 році радянським урядом був виданий декрет, згідно з яким, з економічних міркувань, стрілки годинників у СРСР були переведені на одну годину вперед у порівнянні з поясним часом. Такий час отримав назву декретного. Фактично ми використовуємо декретний час, коли переводимо стрілки годинника в березні і в жовтні.

8. Нерівномірність обертання Землі

Встановлено, що Земля обертається навколо своєї осі нерівномірно. Швидкість обертання Землі зазнає уповільнення вікового характеру, що викликається припливним тертям. Наслідком цього уповільнення є безперервне збільшення тривалості доби в середньому на $0^s,0016$ за сто-

ліття. В обертальному русі Землі виявлені також відхилення від нерівномірного обертання періодичного характеру. Причиною таких відхилень є сезонне перерозподілення мас на поверхні Землі і в атмосфері. В серпні Земля обертається швидше і тривалість доби зменшується, в березні – повільніше, і тривалість доби збільшується. Різниця між тривалістю найдовшої та найкоротшої діб доходить до $0^s,0025$. Крім цього, швидкість обертання Землі зазнає змін нерегулярного характеру, причиною яких може бути перерозподілення мас усередині Землі. Нерегулярні зміни швидкості обертання Землі викликають зміни тривалості доби до $0^s,0034$.

У 30-х роках ХХ ст. були створені кварцові годинники, конструкція яких заснована на використанні електромагнітних коливань у ламповому генераторі, що стабілізований кварцом. Застосування кварцових годинників, які володіють високою постійністю частоти, дозволило виявити сезонні зміни швидкості обертання Землі.

Найбільшою постійністю частоти володіють коливання в атомних і монокулярних генераторах. Атомним часом називається час, в основу вимірювання якого покладені електромагнітні коливання, що випромінюються або поглинаються атомами або молекулами деяких речовин при переході з одного визначеного енергетичного стану в інший. За попередню одиницю атомного часу взята атомна секунда, що визначається як інтервал часу, за який здійснюється 91 926 317 776 електромагнітних коливань, що відповідають квантовому переходу $F, m (4.0) \rightarrow F, m (3.0)$ основного стану $2S_{1/2}$ атома цезію-133 в нульовому магнітному полі.

Для вимірювання атомного часу створені спеціальні устаткування – атомні або молекулярні годинники, які з високим ступенем точності фіксують частоту коливань цезієвого резонатора.

В 1955 році введений в дію перший атомний стандарт частоти, що дозволило створити практично рівномірний атомний час. Використання атомного часу створює принципіальну можливість для детального вивчення змін швидкості обертання Землі.

В міжнародній практиці у зв'язку з введенням нових понять прийняті певні позначення. Середній сонячний час на гринвіцькому меридіані (всесвітній час) позначається $TU0$. Унаслідок зміни довгот точок земної поверхні, викликаной рухом земних полюсів, усесвітній час $TU0$, що визначається в різних точках Землі, буде неоднаковий. В нього необхідно ввести поправку $\Delta\lambda$ за рух пояса. Отриманий у такий спосіб всесвітній час позначається $TU1$. Отже,

$$TU1 = TU0 + \Delta\lambda.$$

Через нерівномірності обертання Землі всесвітній час $TU1$ буде нерівномірним. Якщо всесвітній час $TU1$ виправити поправкою за сезонні коливання швидкості обертання Землі, то час, отриманий таким способом, називається попереднім рівномірним (квазірівномірним) всесвітнім часом і позначається $TU2$. Таким чином

$$TU2 = TU1 + \Delta T_s = TU0 + \Delta\lambda + \Delta T_s.$$

Поправки $\Delta\lambda$ і ΔT_s обчислюються Міжнародним бюро часу (МБЧ) і публікується в його бюлетені.

З достатньою для практичних цілей точністю всесвітній час $TU2$ протягом кількох років можна вважати рівномірним. При інтервалі ж у кілька десятиліть або століть рівномірність шкали часу, що визначається всесвітнім часом $TU2$, буде порушена. Причиною цього є повільні вікові й нерегулярні зміни швидкості обертання Землі. Для отримання більш рівномірної шкали часу використовуються спостереження небесних тіл сонячної системи, зокрема Місяця.

9. Ефемеридний час

Теорії руху дають нам положення Сонця, Місяця і планет у вигляді функцій рівномірного часу, тоді як отримані зі спостережень координати, унаслідок нерівномірності обертання Землі, є функціями нерівномірності часу.

Можна вважати, що теоретичні координати того чи іншого світила відрізняються від спостережуваних координат на величини, які дорівнюють зміні координат цього світила за інтервал часу, що відповідає різниці між рівномірним часом і всесвітнім часом TU_2 , який визначається обертанням Землі.

Отже, в астрономії існують два поняття часу. По-перше, час, вимірювання якого засновано на обертанні Землі, яке визначається за допомогою астрономічних спостережень. Цей час називається середнім сонячним, якщо він виражений в середніх сонячних одиницях, і зоряний, якщо він виражений в зоряних одиницях. По-друге, рівномірний час покладений в основу гравітаційної теорії, руху тіл сонячної системи. Згідно з рекомендаціями Паризької міжнародної конференції по фундаментальних постійних 1950 р., час, тобто аргумент, який є незалежною змінною диференціальних рівнянь руху небесних тіл, було названо ефемеридним часом.

Уведення ефемеридного часу приводить до узгодження спостережень положення Сонця, Місяця і планет з положеннями, обчисленими на основі прийнятої теорії руху тіл сонячної системи.

До того як прийшли до висновку, що обертальний рух Землі нерівномірний, астрономи намагалися узгодити обчислені та спостережені координати світил введенням різних поправок, емпіричних членів, які не впливають із гравітаційної теорії. Користуючись методами небесної механіки, можна обчислити положення Сонця, Місяця і планет на кілька десятиліть уперед. Така робота була зроблена

Ньюкомбом, який склав таблиці координат Сонця і планет, і Броуном, який склав таблиці руху Місяця. Але при порівнянні спостережуваних координат Сонця, Місяця і планет з координатами, обраними із таблиць і приведеними до моменту спостережень, між ними були систематичні розходження. Ці розходження спричинені недосконалістю теорії і змусили вчених внести до довгот Місяця, Сонця, планет ряд поправок.

Згідно зі строгою сучасною теорією, середня довгота Місяця визначається виразом

$$\Delta l_C = l_{\text{Броун}} - 10'',71 \sin(240^\circ,7 + 140^\circ,0T) + 4'',65 + 12'',96T + 5'',22T^2, \quad (106)$$

де T – кількість юліанських століть, які протікають від середнього гринвіцького полудня 1900, січень 0.

Але довгота Місяця, обчислена за формулою (106), все ж не збігається зі спостережуваною довготою $l_{\text{спост.}}$ Місяця. Різниця

$$B = l_{\text{спост.}} - l_C$$

називається флуктуацією Місяця по довготі.

Отже, поправка, яку потрібно додати до середньої довготи Місяця, що надається таблицями Броуна для узгодження її зі спостереженнями, дорівнює:

$$l_C = l_{\text{спост.}} - l_{\text{Броун}} = + 4'',65 + 12'',96T + 5'',22T^2 - 10'',71 \sin(240^\circ,7 + 140^\circ,0T) + B. \quad (107)$$

Середні довготи Меркурія, Венери і Сонця, отримані за таблицями координат Сонця і планет, які склав Ньюкомб, згідно з дослідженнями Спенсера Джонса, повинні бути виправлені такими поправками:

$$\begin{aligned} \Delta l_{\text{♀}} &= 4'',96 + 13'',08T + 5'',10T^2 + 0,310B \\ \Delta l_{\text{♀}} &= 2'',26 + 5'',39T + 2'',00T^2 + 0,122B \\ \Delta l_{\text{☉}} &= 1'',00 + 2'',97T + 1'',23T^2 + 0,0748B \end{aligned} \quad (108)$$

Усі ці розходження можуть бути пояснені однією загальною причиною – нерівномірністю обертання Землі.

Оскільки різниці спостережених і теоретичних координат відповідають зміні координат світил за інтервал часу, що дорівнює різниці між ефемеридним і всесвітнім часом, то спостереження Місяця, Сонця і планет, виконані в визначені моменти за всесвітнім часом, можуть бути використані для того щоби шляхом зворотної інтерполяції обчислених (ефемеридних) координат цих світил знайти ефемеридний час, що відповідає їх спостереженим координатам.

Позначимо через Δt різницю між ефемеридним TE і всесвітнім $TU2$ часом. Тоді ефемеридний час виразиться формулою

$$TE = TU2 + \Delta t. \quad (109)$$

Очевидно, що шукана поправка Δt до всесвітнього часу з найбільшою точністю визначиться зі спостережень світила, що володіє найбільшим видимим рухом серед зірок. Таким світилом є Місяць.

Находження найбільш точного значення різниці Δt між ефемеридним і всесвітнім часом є вельми важливою задачею сучасної астрономії.

Різниця Δt може бути отримана на підставі таких міркувань. Сонце за тропічний рік, тобто за 365,2422 середніх сонячних діб, проходить по екліптиці дугу, що дорівнює $359^{\circ}59'10''$. Дугу в $1''$ Сонце проходить за 24,349 середні сонячні секунди. Тому, якщо поправка середньої довготи Сонця Δl_{\odot} зміниться на $1''$, то поправка Δt до всесвітнього часу зміниться на 24,349 середні сонячні секунди.

Отже,

$$\Delta t = \frac{24^s,349}{1''} \Delta l_{\odot}. \quad (110)$$

Підставляючи в (110) значення Δl_{\odot} , отримане Спенсером Джонсоном, для Δt отримаємо вираз:

$$\Delta t = + 24^s,349 + 72^s,318T + 29^s,950T^2 + 1,821B. \quad (111)$$

Точне значення величини Δt , як видно із формули (111), може бути отримано тільки на основі спостережень Місяця, тобто після того, як буде знайдена величина B – флуктуація Місяця. Точні значення Δt можуть бути отримані лише для минулих моментів часу, причому з великим запізненням.

Для багатьох цілей достатньо знати наближене значення Δt . Такі наближені, екстрапольовані значення Δt на кожен рік подаються в астрономічних щорічниках, календарях і т. ін.

Ефемеридний час є аргументом, згідно з яким в астрономічних щорічниках (календарях) подаються ефемериди Сонця, Місяця і планет, всесвітнього часу. Але оскільки координати цих світил обчислені на основі гравітаційної теорії ньютонівської механіки, реформа астрономічного щорічника по суті була зведена до формальної заміни попереднього аргументу «всесвітній час» новим аргументом «ефемеридний час».

Уведення ефемеридного часу дозволило узгодити спостережувані положення Сонця, Місяця і планет з їх ефемеридами, обчисленими за гравітаційною теорією.

Оскільки внаслідок припливного тертя обертання Землі уповільнюється, різниця між ефемеридним і всесвітнім часом в загальних рисах збільшується, хоча інколи це правило порушується через нерегулярні зміни швидкості обертання Землі. Уявимо, що в епоху 1900,0 почали обертатися дві точки, які збігаються з гринвіцьким меридіаном. Одна з них рухалась весь час рівномірно, інша нерівномірно, причому в будь-який момент швидкість її руху дорівнювала швидкості обертання Землі. Позаяк друга точка обертається разом із Землею, то через припливне тертя вона буде все більше і більше відставати від першої як наслідок гринвіцький меридіан буде відставати від меридіана першої точки. Цей допоміжний меридіан, який обертається рівно-

мірно з кутовою швидкістю, що дорівнює одному оберту за ефемеридну зоряну добу і в початковий момент збігається з меридіаном Гринвіча, називається ефемеридним меридіаном. Поняття про нього вводиться для зручності застосування ефемеридного часу. Оскільки Земля обертається з заходу на схід, то ефемеридний меридіан розташовується на схід від Гринвіча.

Отже, довгота ефемеридного меридіана відносно меридіана Гринвіча включає ефект всієї нерівномірності обертального руху Землі і дорівнює:

$$\Delta\lambda_E = (1 + \mu) \Delta t. \quad (112)$$

Множник $(1 + \mu)$ у формулі (112) з'явився у зв'язку з тим, що повний оберт навколо осі Землі здійснюється за 24 зоряні години, а Δt виражено в середніх сонячних одиницях.

Оскільки гринвіцький меридіан з часом дедалі більше відстає від ефемеридного меридіана, довгота останнього поступово збільшується.

Довготи точок земної поверхні, що відлічуються від ефемеридного меридіана, визначаються за формулою

$$l = \lambda + (1 + \mu) \Delta t. \quad (113)$$

В цій формулі через l позначена довгота точки, що відлічується від ефемеридного меридіану, а через λ – від гринвіцького.

Позаяк ефемеридний меридіан розташовується на схід від гринвіцького, то очевидно, що західна довгота точки, яка відлічується від ефемеридного меридіана, буде більше західної довготи точки, що відлічується від гринвіцького меридіана. І навпаки, східна довгота точки, яка відлічується від ефемеридного меридіану, буде менше східної довготи, що відлічується від гринвіцького меридіана.

Унаслідок нерівномірності обертального руху Землі годинні кути всіх точок небесної сфери, в тому числі і тих, з якими пов'язані системи вимірювання часу, не будуть

змінюватися рівномірно протягом часу. Тривалість основної одиниці часу – доби – також буде змінюватися і, отже, похідна одиниця міри часу – секунда, що визначається як $\frac{1}{84600}$ частина середньої сонячної доби, буде непостійна. Як бачимо, непостійність середньої сонячної доби внаслідок нерівномірності обертального руху Землі змусила відмовитися від колишнього визначення секунди.

В 1956 році Міжнародне бюро мір і ваги прийняло постанову, де подано визначення фундаментальної одиниці часу – секунди: *секунда – це $\frac{1}{31\,556\,925,9747}$ частка тропічного року для 1900 р., січень 0, в 12 годин ефемеридного часу.*

Секунда, яка визначається в такий спосіб, називається ефемеридною секундою. Ефемеридна хвилина дорівнює 60 ефемеридним секундам, ефемеридний час містить 3600 ефемеридних секунд, а ефемеридна доба – 86400 ефемеридних секунд.

У тропічному році міститься $86400 \times 365,242199 = 31\,556\,925,9747$ ефемеридних секунд.

Отже нове визначення секунди пов'язане не тільки з добовим обертанням Землі, але й з її рухом навколо Сонця, тоді як колишнє визначення секунди ґрунтувалося тільки на обертанні Землі навколо осі.

Використання атомних стандартів частоти в сучасних Службах часу дозволило створити принципово нові «годинники», не залежні від обертання Землі. Рівномірність атомного часу значно вища, ніж зоряного і середнього сонячного часу, отриманих за допомогою астрономічних спостережень.

10. Астрономічний щорічник

Астрономічними щорічниками називаються збірники таблиць, які видаються кожний рік у них подаються ефемери Сонця, Місяця, планет і зірок. В астрономічних щорічниках публікуються також різні допоміжні таблиці та ряд відомостей астрономічного характеру.

До 1917 року виконання астрономо-геодезичних робіт в Росії здійснювалося на основі ефемерид, які публікувалися в закордонних астрономічних щорічниках. Використовувалися дані, які публікувалися у французькому астрономічному щорічнику «Connaissance des Temps», заснованому в 1679 р., в англійському щорічнику «Nautical Almanac», заснованому в 1767 р., в німецькому щорічнику «Berliner Jahrbuch», заснованому 1776 р.

Після 1917 р., у зв'язку з блокадою радянської держави, доступ до закордонних астрономічних щорічників був припинений, тому встало питання про видання свого астрономічного щорічника. В 1919 р. був створений Державний обчислювальний інститут – попередник інституту теоретичної астрономії АН СРСР, і перед ним як основне було поставлене завдання створення вітчизняного астрономічного щорічника. Перший «Русский Астрономический Ежегодник» складений в Державному обчислювальному інституті на 1922 р. і вийшов у світ в грудні 1921 р.

В результаті великої роботи, виконаної Інститутом, поступово вдосконалюючись, «Астрономічний Щорічник СРСР» перетворився в першокласний щорічник, який цілком забезпечував астрономо-геодезичні роботи на території колишнього СРСР видимими місцями зірок, що використовувалися в геодезичній практиці. Астрономічний Щорічник СРСР був найбільш повним серед національних щорічників і широко використовувався за кордоном.

Розвиток науки і техніки, підвищення точності астрономічних спостережень і обчислень, розв'язок задач, які

виникали в галузі спостережень штучних космічних тіл і засвоєнні космічного простору потребували безперервного вдосконалення АЩ, підвищуючи точність ефемерид, які в ньому публікувалися, введення нових даних для астрономічних постійних.

В 1964 р. на XII конгресі Міжнародного астрономічного союзу прийнято рішення про поступове введення в астрономічні щорічники, починаючи з 1968 р., нових значень астрономічних постійних.

В Україні, починаючи з 1948 року, Головною астрономічною обсерваторією НАНУ та Українською астрономічною асоціацією видається астрономічний календар. Астрономічний календар – довідковий та інформаційний щорічник з астрономії для широкого загалу читачів. До 1997 р. видавався під назвою «Короткий астрономічний календар» (від 1948 р. вийшло 42 випуски). Черговий 43-й випуск під назвою «Астрономічний календар» було істотно реформовано й доповнено. Довідкова частина АК подає інформацію про ефемериди Сонця, Місяця та інших планет, обставини видимості планет, затемнення, метеоритні потоки, відомості про комети тощо. Вміщуються науково-популярні статті з астрономії та її історії.

11. Зв'язок істинного сонячного часу з середнім

Встановимо зв'язок між середнім сонячним і істинним сонячним часом. Як зазначалося вище, істинний сонячний час визначається за формулою (72), а середній сонячний час – за формулою (80), тобто

$$m_{\odot} = t_{\odot} + 12^h,$$

$$m = t_{\text{сеп. екв. } \odot} + 12^h.$$

Знайшовши з першої формули другу, ми побачимо, що різниця між істинним сонячним і середнім сонячним часом дорівнює різниці годинних кутів істинного і середнього екваторіального Сонця, тобто

$$m_{\odot} - m = t_{\odot} - t_{\text{сер. екв. } \odot}. \quad (114)$$

Але з іншого боку, згідно з формулою зоряного часу (69), годинні кути істинного і середнього екваторіального Сонця дорівнюють:

$$t_{\odot} = s - \alpha_{\odot}; \quad t_{\text{сер. екв. } \odot} = s - \alpha_{\text{сер.екв. } \odot}. \quad (115)$$

Підставивши вираз (115) в (114), отримаємо

$$m_{\odot} - m = \alpha_{\text{сер.екв. } \odot} - \alpha_{\odot}. \quad (116)$$

Різниця між істинним сонячним і середнім сонячним часом називається рівнянням часу.

Із формули (116) бачимо, що рівняння часу дорівнює різниці прямих сходжень середнього екваторіального і істинного Сонця в деякий момент ефемеридного часу.

Отже, позначивши рівняння часу, збільшене на 12^{h} літерою E , будемо мати

$$E = \alpha_{\text{сер.екв. } \odot} - \alpha_{\odot} + 12^{\text{h}}. \quad (117)$$

Згідно з рівнянням (79),

$$\alpha_{\text{сер. екв. } \odot} = (l_{\odot})_{\text{сер.}},$$

звідки

$$E = (l_{\odot})_{\text{сер}} - \alpha_{\odot} + 12^{\text{h}}. \quad (118)$$

Знаючи середню добову швидкість руху Сонця по екліптиці, $(l_{\odot})_{\text{сер}}$ можна обчислити для будь-якого моменту часу. Пряме сходження істинного Сонця (α_{\odot}) обчислюється за формулою теоретичної астрономії. Тому рівняння часу може бути отримане для кожного дня року.

Рівняння часу змінюється протягом року від 0 до $\pm 16^{\text{m}}$. Воно має два максимуми, два мінімуми і чотири рази на рік обертається в нуль (15 березня, 14 червня, 1 вересня і 25 грудня).

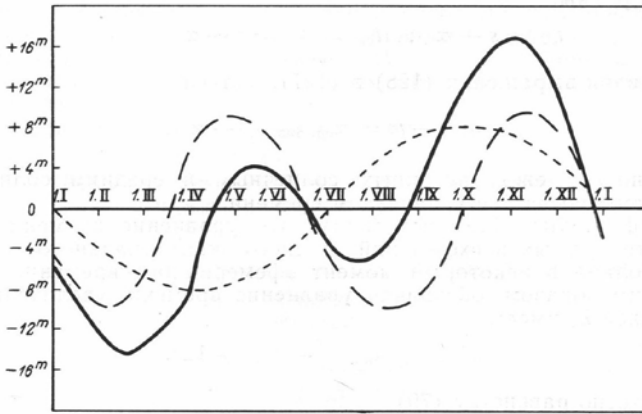


Рис.32. Графік рівняння часу

Графік рівняння часу (рис. 32) являє собою складну криву, утворену внаслідок в основному двох синусоїд: з річним і піврічним періодами. Синусоїдою з річним періодом і амплітудою біля 8^m представлено вплив нерівномірності руху Сонця по екліптиці. Синусоїда з піврічним періодом і амплітудою біля 10^m показує вплив змін схилення Сонця.

Починаючи з 1960 р. в таблицях «Сонце» АЩ для 0^h ефемеридного часу кожного дня року подається рівняння часу, збільшене на 12^h , тобто величина E . Величина E широко використовується при розв'язанні різних задач, пов'язаних з обробкою спостережень Сонця.

Згідно з рівністю (114), рівняння часу являє собою різницю годинних кутів істинного і середнього екваторіального Сонця, на яких однаково відбивається нерівномірність обертання Землі. Рівняння часу від нерівномірності обертання Землі не залежить.

Шуканий зв'язок істинного сонячного із середнім сонячним часом встановлюється за формулами

$$\begin{aligned} m_{\odot} &= m + E - 12^h, \\ m &= m_{\odot} - E + 12^h. \end{aligned} \quad (119)$$

12. Календар

Календарем називається астрономічна система відліку часу. Як уже мовилося, для вимірювання тривалих проміжків часу можуть бути використані періоди обертання Місяця навколо Землі і Землі навколо Сонця.

Тому всі календарі можна поділити на три головних види: місячні, сонячні і місячно-сонячні.

В основі побудови будь-якого виду календаря – тривалість року або місяця. Основою побудови місячного календаря слугує тривалість синодичного місяця, тобто періоду часу між двома послідовними однойменними місячними фазами; основа сонячного – тривалість тропічного року, який, як нам відомо, дорівнює проміжку часу між двома послідовними проходженнями Сонця через точку весняного рівнодення. Місячно-сонячний календар являє собою доволі складну комбінацію періодів синодичного місяця і тропічного року. Прикладом може слугувати єврейський календар, який є найбільш складним і недосконалим з усіх відомих календарів.

Місячний календар був у давніх греків і римлян. Тривалість місяців у цьому календарі чергувалася позмінно по 29 і 30 діб і в середньому дорівнювала 29,5 діб. Оскільки цей період на 45 хвилин коротше місячного місяця, то за три роки накопичувалася похибка в підрахунку часу, що дорівнювала цілій добі. Тривалість року, що містив 12 місяців, дорівнювала 354 дням. Для узгодження з тривалістю тропічного року, що дорівнює 365,2422 середніх сонячних діб, давні греки і римляни додавали до кожного другого року почергово 22 або 23 дня, тобто зайвий місяць.

Найбільш розповсюджений і зручний сонячний календар. Тропічний рік, покладений в його основу, є періодом зміни схилення Сонця, з якими пов'язані зміни часу року і сезонні зміни в природі, що чинять значний вплив на життя людей.

Календарний рік, який використовується для підрахунку часу, повинен містити ціле число середніх сонячних діб і мати зручні проміжні підрозділи. Якщо б в тропічному році містилось ціле число середніх діб, складання календаря не викликало б жодних утруднень. Але тропічний рік не містить цілого числа днів, тому при складанні сонячного календаря доводиться вставляти додаткові дні, які компенсують похибку в обліку часу, що накопичилася за визначений період часу. Чергування більш коротких і більш довгих років (система високоосу) має бути таким, щоби середня тривалість календарного року була близькою до тривалості тропічного року. Чим краще буде досягнуто узгодження тривалості календарного і тропічного року, тим з більшою точністю проходження Сонця через точку весняного рівнодення (настання весни) буде припадати на один і той самий день року. Але ідеально точний календар побудувати неможливо, бо тривалість року непорівнянна з добою.

В основу сонячного календаря, який появився в Єгипті в 2700 р. до Р. Х., був покладений тропічний рік, тривалість якого визначена в 365 днів. Оскільки в дійсності тривалість тропічного року на 0,2422 середніх сонячних діб, тобто на 5 годин 48 хвилин і 46 секунд, більше прийнятої в давньому Єгипті, то через кожні чотири роки в лічбі часу отримаємо різницю в одну цілу добу. Проходження Сонця через точку весняного рівнодення запізнюється на один день за чотири роки і протягом 1460 років переміщується по всім дням року, після чого повертається до колишнього числа.

В 46 р. до Р. Х. римським імператором Юлієм Цезарем, за участю єгипетського астронома Созигена, проведена реформа календаря. В цьому календарі, названому юліанським, або старим стилем, тривалість років, номери яких без залишку діляться на чотири, прийнята рівною 366 середніх сонячних діб, а решта років 365 середніх сонячних діб. Роки, які містять по 366 діб, називаються високосними.

У лютому кожного високосного року не 28, а 29 днів.

Отже, календарний рік в юліанському календарі містить в середньому 365, 25 середніх сонячних діб, тобто календарний рік на 0,0078 діб довше тропічного року (365,2500 – 365,2422).

При лічбі часу за юліанським календарем помилка при підрахунку часу, що дорівнює одній добі, накопичується за 128 років. В юліанському календарі, як і в єгипетському, відбувається зміщення весняного рівнодення, але тільки в зворотній бік і набагато повільніше – на одну календарну дату за 128 років.

На початок 1582 року похибка в підрахунку часу досягла 10 діб, і день весняного рівнодення почав припадати на 11 березня. Оскільки з релігійних міркувань таке зміщення неприпустиме, римський папа Григорій XIII в 1582 р. здійснив реформу юліанського календаря за проектом, запропонованим італійським лікарем Ліліо. Ця реформа полягала тому, що після 4 жовтня 1582 р. запропоновано вважати 15 жовтня. Крім того, в подальшому роки з цілою кількістю століть, у яких кількість сотень не ділиться без залишку на чотири (1700, 1800, 1900, 2100 і т. д.), не вважалися високосними. Високосними запропоновано вважати тільки ті роки, з цілою кількістю століть, у яких кількість сотень ділиться на чотири (1600, 2000, 2400 і т.д.).

Отже, тривалість середнього григоріанського року дорівнює 365,2425 середніх сонячних діб, тобто календарний рік довше тропічного всього на 0,0003 середніх сонячних діб. Тому, похибка в лічбі часу буде дорівнювати цілій добі, що накопичується приблизно за 3300 років.

Цей календар був названий григоріанським календарем, або новим стилем. Сьогодні новий стиль прийнятий майже у всіх країнах. У країнах Західної Європи він введений в XVI – XVII століттях. У Росії на новий стиль перейшли в 1918 р. Декретом Ради Народних Комісарів, опублі-

кованим 26 січня 1918 р., приписувалося відразу після 1 лютого 1918 р. вважати 14 лютого. Цим усувалася 13-денна різниця в лічбі часу за старим і новим стилями.

Поділ року на місяці та їх назви ми успадкували від місячного давньоримського календаря. Але до видимого руху Місяця сучасні місяці ніякого відношення не мають.

Семиденний тиждень і назва днів тижня ми успадкували із глибокої давнини, це має деяке відношення до місячного календаря, бо тривалість кожної місячної фази приблизно сім днів. Крім того відомих в давнині планет, разом із Сонцем і Місяцем, було сім.

Кожний день тижня і кожна із планет присвячувались якому-небудь давньоримському язичницькому богу:

Неділя	☉	– День Сонця
Понеділок	☾	– День Місяця
Вівторок	♂	– День Марса
Середа	♀	– День Меркурія
Четвер	♃	– День Юпітера
П'ятниця	♀	– День Венери
Субота	♄	– День Сатурна

Така система назви днів тижня в основному збереглася в західноєвропейських країнах.

При складанні календаря необхідно вирішувати ще два вельми важливих питання: кожний рік приймати за початок лічби років, тобто за початок ери, і кожний день року приймати за початок року. В багатьох країнах початком Нового року вважається 1 січня. Що стосується встановлення ери, то загальноприйнятою ерою є рік Різдва Христового.

Відлік років від Різдва Христового введено римським монахом Діонісієм в році, який він полічив 532-м роком від Різдва Христового.

В Росії до 1700 р. відлік років вівся від дня «створення світу», причому 1700 р. від Різдва Христового вважався

7208 р. від «створення світу». В 1700 р. указом Петра I була прийнята лічба років, запропонована Діонісієм, тобто від Різдва Христового.

В астрономії велике розповсюдження має система безперервної лічби днів, яка ведеться від певної початкової дати, що передує всім історичним періодам. Безперервний рахунок днів зручно приймати також для узгодження різних хронологічних систем відліку. Така система безперервної лічби днів, яка ведеться через роки, століття і тисячоліття, починаючи з 1 січня 4713 р. до н. е., називається юліанською. Початком юліанського дня вважається середній гринвіцький полудень.

13. Хронометр і годинники

Для вимірювання часу при астрономічних спостереженнях служать хронометри та годинники.

Механізм хронометра й годинників складається із чотирьох головних частин:

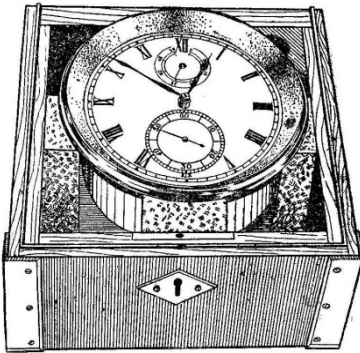


Рис. 33. Столовий хронометр

3) *лічильника* – системи зубчатих коліс, що обертають з визначеною швидкістю на циферблаті годинну, хвилинну і секундну стрілки;

1) *балансира*, здійснюючого під впливом спіральної пружини (волоска) коливання однакової тривалості у протилежних напрямках;

2) *передавального пристрою*, що перетворює коливальні рухи балансира в оборотний рух зубчатих коліс;

4) *двигуна* – тонка сталева пружина, закрученої в спіраль, яка служить для подолання тертя в лічильнику й підтримання безперервного хитання балансира.

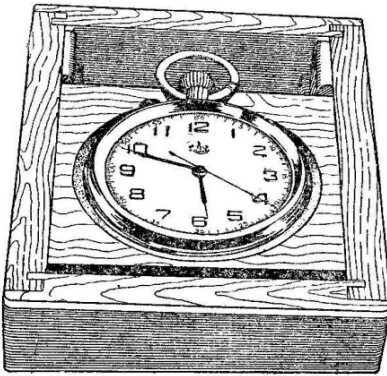
За конструкцією хронометри бувають зоряні й середні.

Зоряні хронометри показують час у зоряних одиницях. Вони використовуються при спостереженні зірок.

Середні хронометри показують одиниці середнього часу, застосовують їх при спостереженнях Сонця і зірок.

У залежності від розмірів хронометри поділяють на столові й кишенькові.

Столовий хронометр (рис. 33) є точними годинниками, що позначається великою постійністю ходу.



Механізм хронометра відбиває що півсекунди удари, які чути за кілька метрів.

Показання хронометра здійснюються за допомогою годинної і хвилинної стрілок, закріплених у центрі циферблата, і секундної стрілки, яка має свій малий циферблат.

Рис.34. Палубні годинники

З протилежної сторони від секундного циферблата знаходиться циферблат заводу, який має цифрування від 0 до 56 через восьмизначні інтервали. При заведенні стрілка доводиться до цифри 8, в подальшому за нею визначають, скільки годин пройшло з моменту заведення. Незважаючи на дводобовий завод, хронометр слід заводити щоденно, по можливості в один і той самий час.

Переведення хвилинної стрілки здійснюється ключем, який одночасно слугує для заведення хронометра, причому

тільки вперед. При цьому положення хвилиної і секундної стрілок необхідно узгоджувати. Секундну стрілку переставляти не можна.

Корпус хронометра постійно повинен знаходитися всередині дерев'яного футляра так, щоби циферблат був у горизонтальному положенні.

Одним із типів кишенькових хронометрів є палубні годинники (рис. 34), відрегульовані за середнім часом.

Годинна, хвилинна і секундна стрілки цих годинників розташовуються в центрі циферблата. При цьому остання рухається стрибками через $0^s,2$. Заведення годинників здійснюється обертанням головки в додатному напрямку до кінця. Повне заведення забезпечує дводобову роботу годинників. Але годинники, як і хронометр, необхідно заводити щоденно. При переведенні хвилиної стрілки необхідно попередньо натиснути на штифт, розташований поряд із головкою для заведення.

Для визначення астрономічних азимутів з порівняно невеликою точністю можна використовувати наручні годинники з центральною секундною стрілкою.

Хід годинників (до них відносять і хронометри) заснований на періоді коливань балансира, який виконує роль маятника, під впливом пружистої сили сталевієї пружини. Як би ретельно не був виготовлений і відрегульований механізм годинників, точних значень інтервалів часу вони не показують. Порушення постійності руху годинників відбувається внаслідок коливань температури і тиску повітря, зміни сил тертя і сили двигуна. Тому під час астрономічних спостережень необхідно знати поправку на показання годинників.

14. Визначення поправки і перевірка годинників

Поправкою годинників u називається різниця між точним значенням часу T і показаннями годинників T' в один той самий фізичний момент, тобто

$$u = T - T'. \quad (6.1)$$

Поправка u визначається за сигналами часу, що передається радіомовними станціями в кінці кожного часу. Серія звукових сигналів складається із шести точок. У момент подання шостої точки, яка відповідає початку наступної години, за годинниками відлічують секунди, а потім хвилини і години.

Наприклад, у момент подачі сигналу точного часу 22^h00^m00^s годинники, встановлені за московським часом, показували 21^h58^m45^s. Отже, поправка $u = 22^{\text{h}}00^{\text{m}}00^{\text{s}} - 21^{\text{h}}58^{\text{m}}45^{\text{s}} = +01^{\text{m}}15^{\text{s}}$.

Поправка буде додатною, якщо годинники запізняються за часом, і від'ємною, коли вони поспішають.

Внаслідок нерівномірності роботи механізмів годинників їх поправка буде безперервно змінюватися. Зміна поправки годинників за визначений проміжок часу (доба, година) називається ходом годинників (добовим або годинним).

Очевидно, хід годинників ω можна визначити з рівняння

$$\omega = \frac{u_2 - u_1}{T_2 - T_1}, \quad (6.2)$$

де u_1 і u_2 – поправки годинників, що відповідають моментам їх визначення T_1 і T_2 .

При визначенні добового ходу різниця $T_2 - T_1$ виражається в добі, а годинного ходу – в годинах.

Знаючи хід годинників ω і поправку u_1 для моменту T_1 , нескладно обчислити поправку u до годинників для будь-якого моменту T за формулою

$$u = u_1 + \omega (T - T_1). \quad (6.3)$$

Момент спостереження, виправлений поправкою годинників, визначається з такого рівняння, отриманого згідно з формулою (6.1):

$$T = T' + u.$$

(6.4)

Приклад. Візування на Полярну о $23^{\text{h}}47^{\text{m}}56^{\text{s}}$. Поправка годинників о $22^{\text{h}}00^{\text{m}}00^{\text{s}}$ $u_1 = -1^{\text{m}}16^{\text{s}},6$, а о $1^{\text{h}}00^{\text{m}}00^{\text{s}}$ $u_2 = -1^{\text{m}}17^{\text{s}},8$. Знайти виправлений момент візування на Полярну.

За формулою (6.2), годинний хід годинників

$$\omega = \frac{-1^{\text{m}}17^{\text{s}},8 - (-1^{\text{m}}16^{\text{s}},6)}{1^{\text{h}} - 22^{\text{h}} + 24^{\text{h}}} = -0^{\text{s}},4.$$

Поправка годинників на заданий момент, згідно з рівнянням (6.3), $u = -1^{\text{m}}16^{\text{s}},6 + (-0^{\text{s}},4) \times (23^{\text{h}},8 - 22^{\text{h}}) = -1^{\text{m}}17^{\text{s}},3$. Тоді, за формулою (6.4), виправлений момент візування на Полярну $T = 23^{\text{h}}47^{\text{m}}56^{\text{s}} - 1^{\text{m}}17^{\text{s}} = 23^{\text{h}}46^{\text{m}}39^{\text{s}}$.

Момент спостереження зірки повинен знаходитися в проміжку часу між двома визначеннями поправки годинників. Як виняток може допускатися метод екстраполяції, коли момент часу, для якого визначається поправка годинників, розташовується поза зазначеним вище проміжком часу.

Основна перевага годинників полягає в рівномірності їх ходу, встановлюється величиною коливань добового ходу.

Нехай для n діб визначені значення добових ходів $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n$ і їх середнє значення ω_0 . Тоді відхилення $\delta_1 = \omega_1 - \omega_0$; $\delta_2 = \omega_2 - \omega_0$; \dots ; $\delta_n = \omega_n - \omega_0$ значень кожного добового ходу від середньої величини можна розглядати як випадкові коливання добових ходів.

Середнє квадратичне значення коливань добового хода, обчислене за формулою

$$m = \sqrt{\frac{\sum \delta^2}{n-1}},$$

буде визначати якість роботи механізмів годинників, що перевіряються. В цій формулі за n прийнято кількість значень добових ходів ω , визначених при перевірці годинників.

Добовий хід годинників достатньо визначити протягом 6–10 діб заздалегідь, до початку астрономічних робіт. Для цього щоденно в один і той самий час визначається поправка u по радіомовних сигналах часу.

Величина середнього квадратичного коливання добових ходів звичайно не перевищує: для хронометра $\pm 0^s,8$, для палубних годинників $\pm 1^s,5$ і для наручних годинників $\pm 10^s$.

Приклад перевірки годинників наведений у табл. 1.

Таблиця 1

Визначення добового ходу годинників і середнього квадратичного значення коливань ходу

Годинники палубні № 7554

Число і місяць	Декретний час T	Показання годинників T'	Поправка годинників u	Добовий хід ω	Відхилення δ	δ'	
28 липня	20 ^h 00 ^m 00 ^s ,0	19 ^h 59 ^m 15 ^s ,6	+ 44 ^s ,4	-10 ^s ,6	0 ^s ,0	0,00	
29 липня	20 00 00,0	26,2	+ 33,8	- 10,4	+ 0,2	0,04	
30 липня	20 00 00,0	36,6	+ 23,4	- 10,2	+ 0,4	0,16	
31 липня	20 00 00,0	46,8	+ 13,2	- 10,6	0,0	0,00	
1 серпня	20 00 00,0	57,4	+ 2,6	- 11,2	- 0,6	0,36	
2 серпня	20 00 00,0	20 00 08,6	- 8,6				
				Середнє	-10 ^s ,6	0 ^s ,0	0,56

Середнє квадратичне коливання добового ходу

$$m = \sqrt{\frac{0,56}{4}} = \pm 0^s,4.$$

Найбільша різниця між значеннями двох суміжних добових ходів $\Delta\omega = -10^s,6 - (-11^s,2) = + 0^s,6$.

15. Зоряне небо

Зоряне небо являє собою сукупність світил, видимих уночі на небосхилі.

Картина зоряного неба безперервно змінюється внаслідок видимого добового обертання небесної сфери і види-

мого річного руху Сонця. Неозброєним оком на небі можна бачити до 7000 зірок.

Для зручності орієнтування на зоряному небі зірки умовно розподілені на групи, які називають сузір'ями. Поділ зірок на сузір'я і надання їм назв сягає сивої давнини. Всього налічується близько 88 сузір'їв, із них для астрономічних спостережень широт, довгот і азимутів використовуються зірки приблизно 30 сузір'їв.

Яскраві зірки сузір'їв позначаються літерами грецького алфавіту, а деякі з них, окрім того, мають власні найменування. Більш слабким зіркам в Астрономічному щорічнику надані порядкові номери.

Яскравість зірок і інших небесних світил розрізняють по їх видимому блиску, який характеризується ступенем освітленості, що створюється світилом на межі земної атмосфери. Одиницею вимірювання блиску служить зоряна величина, яка не має відношення до дійсних розмірів світила.

Яскраві зірки (їх близько 20) домовилися називати зірками 1-ї величини, а найбільш слабкі з доступних для спостереження неозброєним оком віднесені до зірок 6-ї величини.

Зірки, які мають блиск у 2,5 разу (точніше 2,512) слабший від зірок 1-ї величини, отримали найменування зірок 2-ї величини; зірки 3-ї величини мають блиск слабше у 2,5 разу від зірок 2-ї величини і т.д. Небесні світила, блиск яких перевищує блиск зірок 1-ї величини в 2,5 разу, відносять до 0-ї величини; ще більш яскраві світила мають від'ємну зоряну величину. Так, найбільш яскрава зірка північної півкулі неба α (Вега) сузір'я Ліри має величину 0,14, а найяскравіша зірка всього небосхилу α (Сиріус) сузір'я Великого Пса – мінус 1,58; Сонце має величину мінус 26,7, а повний Місяць – мінус 12,7.

Зоряні величини яскравих зірок, їх загальноприйняті позначення і належність до того або іншого сузір'я наведені в таблиці 3.

Користуючись цією таблицею, а також картою зоряного неба (рис. 35), можна вибрати на небосхилі необхідні для спостереження зірки.



Рис. 35. Карта яскравих зірок

Відшукування зірок на небі зручніше починати з відомого сузір'я Великої Ведмедиці, чотири зірки якого – α , ϵ , ζ і η – найбільш яскраві.

Розглядаючи ділянку зоряного неба, розташовану над «ковшем» В. Ведмедиці, можна знайти такі сузір'я: Малої Ведмедиці з двома яскравими зірками α і β , одна з яких – α – названа Полярною; Кассіопеї, які нагадують розтягнуту літеру латинського алфавіту W з найбільш яскравою зіркою β , і Дракона з яскравою зіркою γ , яка знаходиться на подовженні лінії, що з'єднує Полярну з сусідньою зіркою «в рукоятці ковша» М. Ведмедиці.

Вказані сузір'я прийнято називати навколополярними.

Якщо продовжити лінію Полярна – β Кассіопеї на таку ж відстань у бік останньої, то знайдемо сузір'я Андромеди і Пегаса з яскравими зірками α і γ Андромеди та ϵ Пегаса.

За напрямком α - γ Андромеди, поблизу зірки γ , розташовано сузір'я Персея з яскравою зіркою α , яка знаходиться в центрі сузір'я.

Якщо з'єднати діагональ δ - β «ковша» В. Ведмедиці і продовжити її в бік зірки β , то можна знайти дві найбільш яскраві зірки сузір'я Близнюків: α і β . Продовжуючи вказану лінію, знайдемо сузір'я Малого Пса з його яскравою зіркою α , а ще далі – сузір'я Великого Пса з яскравими зірками α (Сиріус) і ϵ .

З'єднуючи зірки γ і β В. Ведмедиці й продовжуючи лінію в напрямку β , побачимо найгарніше з усіх сузір'їв – Оріон. Найбільш яскрава зірка цього сузір'я β , дещо слабша – α (Бетельгейзе), γ , ϵ і ζ .

Від сузір'я Оріона за напрямком до Полярної розташовано спочатку сузір'я Телець з яскравими зірками α (Альдебаран) і β , а потім сузір'я Візничий з яскравою зіркою α (Капелла).

На ділянці зоряного часу «під дном ковша» В. Ведмедиці розташовуються: сузір'я Льва з яскравими зірками α і β та сузір'я Гідри з окремою яскравою зіркою α .

У секторі небосхилу, спрямованому в бік «рукоятки ковша» В. Ведмедиці, можна знайти сузір'я Волопаса, Діви, Північної Корони і Змієносія.

Сузір'я Волопаса має форму витягнутого багатокутника з найбільш яскравою зіркою α (Арктур). Стрілоподібний напрямок цього сузір'я вказує на розташування поруч сузір'я Діви з яскравою зіркою α .

Дещо нижче сузір'я Волопаса знаходиться сузір'я Північної Корони, яке має вигляд підкови з яскравою зіркою α в середині. Ще далі до екватору розташоване сузір'я Змієносія з яскравою зіркою α .

На ділянці зоряного неба, розташованій «над рукояткою ковша» В. Ведмедиці, можна відшукати сузір'я Лебедя, Орла й Ліри.

Сузір'я Лебеда, схоже на літак, що летить, має зверху найбільш яскраву зірку α . Поруч з сузір'ям Лебеда і нижче знаходиться сузір'я Орла з яскравою зіркою α . Ближче до сузір'я В. Ведмедиці біля сузір'я Дракона розташоване сузір'я Ліри з її яскравою зіркою α (Вега).

Отже, розпізнати на небосхилі необхідну для спостережень яскраву зірку не викликає великих утруднень.

Таблиця 2

Список яскравих зірок

№ по каталогу	Назва зірки	Назва сузір'я	Зоряна величина	№ по каталогу	Назва зірки	Назва сузір'я	Зоряна величина
2	α And	Андромеда	2,15	453	α Lir	Ліра	0,14
53	γ And	Андромеда	2,28	-	α U Mi	М. Ведмедиця	2,12
211	α Gem	Близнюки	1,99	360	β U Mi	М. Ведмедиця	2,24
216	β Gem	Близнюки	1,21	213	α C Mi	М. Пес	0,48
278	α U Ma	В. Ведмедиця	1,95	54	α Ari	Овен	2,23
316	ϵ U Ma	В. Ведмедиця	1,68	482	α Aql	Орел	0,89
325	ζ U Ma	В. Ведмедиця	2,40	167	α Ori	Оріон	0,92
333	η U Ma	В. Ведмедиця	1,91	142	β Ori	Оріон	0,34
190	α C Ma	В. Пес	-1,58	148	γ Ori	Оріон	1,70
198	ϵ C Ma	В. Пес	1,63	157	ϵ Ori	Оріон	1,75
143	α Aur	Візничий	0,21	160	ζ Ori	Оріон	2,05
345	α Boo	Волопас	0,24	621	λ Vel	Паруса	2,22
245	α Hya	Гідра	2,16	532	ϵ Peg	Пегас	2,54
326	α Vir	Діва	1,21	83	α Per	Персей	1,90
434	γ Dra	Дракон	2,42	373	α Cr B	Пів. Корона	2,31
696	α Gru	Журавель	2,16	666	α Sco	Скорпіон	1,22
424	α Oph	Зміноносець	2,14	674	λ Sco	Скорпіон	1,71
3	β Cas	Кассіопея	2,42	682	σ Sgr	Стрілець	2,14
15	β Cet	Кіт	2,24	119	α Tau	Тілець	1,06
506	α Cyg	Лібідь	1,33	149	β Tau	Тілець	1,78
261	α Leo	Лев	1,34	650	θ Cen	Центавр	2,26
293	β Leo	Лев	2,23	702	α Ps A	Півд. Риба	1,29

IV. ВИЗНАЧЕННЯ АСТРОНОМІЧНИХ АЗИМУТІВ

1. Загальні відомості про способи визначення

астрономічного азимута

Найбільш розповсюджені способи визначення астрономічного азимута в геодезичних мережах спеціального призначення такі: за висотою Сонця; за висотами яскравих зірок; за годинним кутом Полярної і за годинним кутом Сонця.

Вибір того або іншого способу залежить від заданої точності визначення азимута, наявності відповідної точності приладів вимірювання часу, широти місця спостереження і часу доби.

Якщо звернутися до рівнянь (15) і (20), то можна бачити, що в залежності від способу визначення азимута невідомими правих частин цих рівнянь, окрім схилення δ і широти φ , які є загальними, служить або висота h , або годинний кут світила t .

Висота h вимірюється за допомогою теодоліта, а годинний кут t може бути визначений із рівняння (69) або безпосередньо виміряний момент спостереження s світила. Схилення δ , пряме сходження α і широту місця спостереження φ можна вважати відомими величинами, оскільки координати δ і α світил розміщені в Астрономічному щорічнику або в Каталозі координат Сонця і яскравих зірок; широту φ при визначенні азимута з точністю ± 30 – $60''$, а за годинним кутом Полярної навіть з точністю $\pm 10''$ достатньо взяти з великомасштабної топографічної карти.

Після ретельного центрування й нівелювання труба теодоліта фокусується по достатньо віддаленому предмету, й на окуляри труби та відлікового мікроскопа укріплюються спеціальні призми, які дозволяють наводити трубу і здійснювати відліки по кутомірних кругах при великих кутах нахилу. При спостереженнях Сонця на окуляр труби, крім того, одягається темний світлофільтр.

Кількість прийомів спостереження світила і місцевого предмета встановлюється в залежності від необхідної точності визначення азимута і типу застосовуваного при цьому теодоліта.

Необхідна кількість прийомів при визначенні астрономічного азимута наведена в табл. 3.

Таблиця 3

Необхідна кількість прийомів при визначенні астрономічного азимута

Тип кутомірного приладу	Кількість прийомів в залежності від точності визначення азимута			
	$\pm 10''$	$\pm 15''$	$\pm 30''$	$\pm 60''$
T1, OT-02, OT-02M	6*	4*	2	2
T2, ТБ-1, ТеВ-1, 2Т5К, Т10В	-	-	3	2
T-30, T-15, ТОМ	-	-	-	2

*При визначенні азимута за годинним кутом Полярної з точністю $\pm 10''$ і $\pm 15''$ кількість прийомів відповідно зменшується на 2 і 1.

Початкові встановлення горизонтального круга в кожному прийомі розраховується, як і при спостереженні способом кругових прийомів, за формулою

$$\sigma = \frac{180^\circ}{m}(i - 1), \quad (7.3)$$

де m – кількість прийомів;

i – номер прийому.

Точність визначення астрономічного азимута залежить не тільки від точності польових вимірювань, але і від положення світила відносно горизонту й меридіана місця спостереження.

Для встановлення найкращих умов визначення азимута за висотою світила необхідно продиференціювати рівняння (16):

$$\sin \delta = \sin \varphi \sinh + \cos \varphi \cosh \cos \alpha$$

за змінними a , φ і h . Замінивши далі диференціали da , $d\varphi$ і dh істинними помилками Δa , $\Delta\varphi$ і Δh , після перетворень отримаємо

$$\Delta a = -\frac{\cos q}{\sin t \cos \varphi} \Delta h - \frac{\operatorname{ctgt}}{\cos \varphi} \Delta \varphi. \quad (7.1)$$

На основі аналізу цієї формули можна зробити такі висновки.

Найменше значення помилки Δa в азимуті світила буде при величині годинного кута t , близькій до 90° або 270° , коли $\sin t = \pm 1$, а $\operatorname{ctgt} = 0$. Крім того, оскільки перший член залежить від $\cos q$, то значення коефіцієнта при Δh буде тим меншим, чим q ближче до 90° . Тільки у зірок, що не заходять, паралактичний кут q може дорівнювати 90° . При $q = 90^\circ$ зірка у своєму видимому добовому русі по небесній сфері знаходиться в такому положенні, при якому її азимут досягає найбільшого значення. Це положення зірки називають елонгацією.

Отже, найкращі умови для визначення азимута по висоті світила такі: для зірок, що не заходять, – у момент, коли зірка знаходиться в елонгації; для світил, які не мають елонгації, – в момент, коли світило проходить через перший вертикал, позаяк у цей час годинний кут t світила дорівнює 6 або 18^h , а q має максимальне значення.

Помилка в азимуті, що залежить від широти пункту спостереження, тим менша, чим ближче спостерігач розташовується до екватора.

Отже, в південних районах азимут за висотами світил визначається точніше, ніж у ті самі моменти часу в північних районах. Тому використовувати даний спосіб у

пунктах із географічними широтами більше 60° не рекомендується.

Крім того, слід мати на увазі, що помилка в азимуті може досягати великих значень, якщо спостерігати світило при висотах, менших 10° , тому що в цих випадках тяжко встановити величину поправки на астрономічну рефракцію.

Так само можна встановити найкращі умови визначення азимута за годинним кутом світила. Виконаємо диференціювання формули (18) за змінними a , φ і t . Замінюючи після деяких перетворень диференціали істинними помилками Δa , $\Delta\varphi$ і Δt , отримаємо

$$\Delta a = \frac{\cos q \cos \delta}{\cosh} \Delta t - \frac{\sin a}{\operatorname{ctg} h} \Delta \varphi. \quad (7.2)$$

З цього рівняння видно, що помилка в азимуті Δa буде мінімальною при спостереженні навколополюсних зірок, що мають схилення δ , близьке до 90° , і азимут a , який мало відрізняється від 0° . Дійсно, оскільки при $\delta = 90^\circ$ і $a = 0^\circ$ $\cos \delta = 0$ і $\sin a = 0$, тоді і $\Delta a = 0$. З яскравих зірок ці умови найкраще задовольняє Полярна, для якої $\delta = 89^\circ$, а азимут на широтах до 70° не перевищує 3° .

Якщо виникає необхідність у визначенні азимута за годинним кутом Сонця, то найкращі умови для спостереження будуть при сході і заході Сонця, оскільки в цьому випадку кут h порівняно невеликий, а отже, $\cos h$ близький до 1, а $\operatorname{ctg} h$ – велика величина.

2. Визначення азимута за висотою Сонця

Спосіб визначення азимута за висотою Сонця використовується для отримання орієнтирних напрямків із середньої квадратичною помилкою, що дорівнює $\pm 30''$ і більше.

Для визначення астрономічного азимута $A = a + Q$ місцевого предмета M (рис. 36) необхідно виміряти безпосередньо на місцевості, крім вертикального h , горизонтальний кут Q . Ці вимірювання слід проводити в ранкові або вечірні години, коли Сонце знаходиться поблизу першого вертикалу (при цьому його висота більше 10°). У біляполюденний час (з 10 до 16 години декретного часу) для широт $40\text{--}60^\circ$ спостерігати Сонце не рекомендується.

Очевидно, кути h і Q повинні бути виміряні при одному положенні Сонця на небесній сфері. Тому візування на Сонце вертикальною і горизонтальною нитками сітки необхідно здійснювати одночасно. Тільки у цьому випадку математичний зв'язок між висотою і азимутом Сонця, що безперервно рухається, не порушиться.

Для визначення величини схилення Сонця δ відмічається по годиннику момент наведення візирної осі труби теодоліта на Сонце. При цьому час достатньо знати з точністю 1,5–2 хвилини. Невисокі вимоги до точності вимірювання часу складають перевагу способу, що розглядається, перед способом визначення азимута за годинним кутом світила.

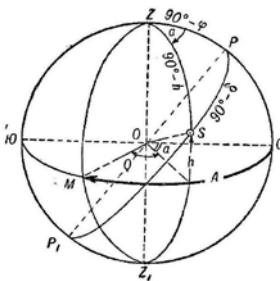


Рис. 36. Паралактичний трикутник із Сонцем і азимут місцевого предмета

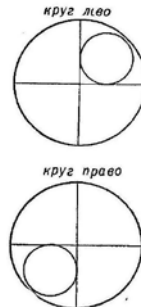


Рис. 37. Порядок візування на Сонце

Зважаючи на великі розміри видимого диска Сонця (в кутовій мірі біля $32'$) точне суміщення його центра з перехрестям сітки ниток неможливе. Щоб уникнути введення

поправок у відліки на радіус видимого диска Сонця, візують одночасно горизонтальною й вертикальною нитками, розташовуючи зображення Сонця при двох положеннях круга в діаметрально протилежних чвертях сітки (рис. 37).

Це досягається так. При КЛ спрямовують трубу на Сонце так, щоби його зображення розташовувалося, наприклад, у першій чверті сітки і лівий край диска не доходив до вертикальної нитки. Обертаючи навідний гвинт труби, утримують нижній край зображення Сонця на горизонтальній нитці. В момент торкання лівого краю диска з вертикальною ниткою сітки обертання навідного гвинта припиняють.

При КП так само суміщають із горизонтальною і вертикальною нитками відповідно верхній і правий краї видимого диска Сонця, але в діаметрально протилежній чверті сітки (в третій).

При такому способі візування на Сонце середні значення з відліків по горизонтальному і вертикальному кругам будуть відповідати наведенню труби на центр Сонця в середній момент часу T .

Спостереження Сонця при визначенні азимута по його висоті здійснюється в такому порядку.

При КЛ трубу наводять наближено на місцевий предмет, азимут якого визначається, і встановлюють на лімбі відлік, обчислений за формулою (7.3). Після точного візування здійснюють відлік по горизонтальному кругу і записують отриманий результат у польовий журнал. Потім наводять трубу на Сонце, як показано на рис. 37, і здійснюють відлік по годиннику з точністю до однієї хвилини і відліки по вертикальному та горизонтальному кругам теодоліта до цілих секунд. При цьому перед відліком по вертикальному кругу бульбашку рівня при його алідаді встановлюють на середину.

Після цього переводять трубу через зеніт і при КП візують спочатку на Сонце, фіксуючи момент часу по годиннику і здійснюючи відліки по кутомірних кругах, а потім на місцевий предмет, при цьому беруть відлік тільки по горизонтальному кругу.

На цьому завершується один прийом спостережень. Кількість прийомів встановлюють за табл. 4 в залежності від необхідної точності визначення астрономічного азимута й типу використовуваного теодоліта.

Для виправлення вимірної висоти Сонця поправкою r за астрономічну рефракцію вимірюють температуру повітря з точністю до 5° і тиск з точністю до 5 мм.

У наведеному прикладі (табл. 4) літерами M і C позначені середні з відліків по горизонтальному кругу при візуванні відповідно на місцевий предмет і Сонце при двох положеннях труби. Часткові значення висоти h' , обчислені за формулами (для теодоліту Т30), мають такий вигляд, якщо вважати $MZ = 0$,

$$h' = 180^\circ - \text{КЛ} = \text{КП}.$$

У нашому прикладі $h'_l = 18^\circ 17' 22''$, $h'_n = 17^\circ 32' 45''$, а середнє $h' = 17^\circ 55' 04''$.

Вимірне значення висоти h' Сонця, як і всіляких інших світил, необхідно виправити поправкою r на астрономічну рефракцію, сутність якої полягає ось у чому.

Світловий промінь, що йде від світила до ока спостерігача, при потраплянні до атмосфери змінює свій прямолінійний напрямок. У міру наближення до земної поверхні він, проходячи шари атмосфери з різною щільністю, за законами заломлення чимраз більше заломлюється й набуває форму кривої σO (рис. 38). Кут між дотичною $O\sigma'$ до кривої та істинним напрямком $O\sigma''$ на світило називається поправкою на астрономічну рефракцію.

Таблиця 4

Приклад ведення польового журналу при визначенні астрономічного азимута по висоті Сонця

Напрямок *Окру, пір.* – ОРП-1

Дата 8 жовтня 2022 р.

Прийом 1

Широта $\varphi = 56^{\circ}28'30''$

Температура $t = +18^{\circ}$

Довгота $\lambda = 30\ 14\ 42$

Тиск $B = 760\text{ мм}$

Теодоліт Т30 № 126523

Назва напрямку	Круг	Відлік по штрихам лімба	Відліки по мікрометру		$\frac{a_1 + a_2}{2}$	Л-П (2с)	Позначення	Значення напрямку
			a_1	a_2				
ОРП-1	Л	0° 0'	5' 30"	6' 00"	5' 45"			
Гор. круг	П	180 0	6 00	6 30	6 15	-30'	M =	0°06'00"
	Л	207 50	8 30	8 45	8 38			
	П	28 10	6 00	6 15	6 15		C =	208 07 26
							Q =	151 58 34
Верт. круг	Л	161 40	2 45	2 30	2 38			
	П	17 30	2 30	3 00	2 45		$h' =$	17 55 04
							$r =$	- 2 53
Годинники	Л	17 ^h 56 ^m					$h =$	17°52'11"
	П	18 02						
$T' =$		17 ^h 59 ^m						
$u =$		+ 2						
$T =$		18 ^h 01 ^m						

Оскільки рефракція збільшує висоту світила (або зменшує зенітну відстань), для отримання виправленої висоти необхідно з її виміряного значення h' відрахувати поправку r на астрономічну рефракцію, тобто

$$h = h' - r, \text{ або } z = z' + r. \quad (7.4)$$

Скривлення променя залежить від висоти світила над горизонтом і щільності шарів повітря. При малій висоті

світила промінь σO проходить досить великий шлях в атмосфері, в який постійно змінюється щільність шарів повітря. Тому встановлення величини рефракції в цих випадках стає важкою і надзвичайно ненадійною справою.

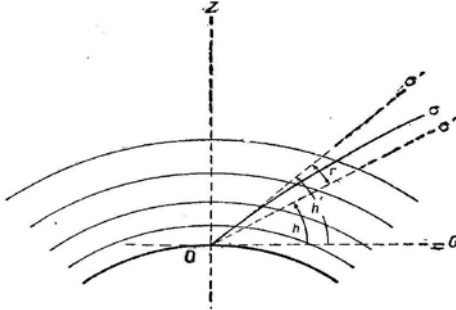


Рис. 38. Астрономічна рефракція

У курсах астрономії подається така формула для визначення величини поправки на астрономічну рефракцію:

$$r = 60'' \cdot 3 \frac{B}{760} \cdot \frac{273}{273+t} \operatorname{tg} z, \quad (7.5)$$

де B – атмосферний тиск;
 t – температура повітря;
 z – зенітна відстань світила.

У першій частині табл. 5 наведені значення середньої рефракції r_0 при $t = +10^\circ$ і $B = 760$ мм, обчислені за формулою (7.5). У другій частині таблиці вказано поправки до середньої рефракції на температуру Δr_t і атмосферний тиск Δr_B . Отже, у загальному випадку таблична поправка на астрономічну рефракцію буде складатися із трьох величин, тобто

$$r = r_0 + \Delta r_t + \Delta r_B. \quad (7.6)$$

У нашому прикладі $h = 17^\circ 55'$ ($z = 72^\circ 05'$); $t = +15^\circ$ і $B = 750$ мм, тому $r_0 = 2'58''$; $\Delta r_t = -3''$ і $\Delta r_B = -2''$. Отже, $r = 2'58'' - 3'' - 2'' = 2'53''$.

Для визначення азимута земного предмета, крім виміряної висоти Сонця, виправленої поправкою на астрономічну рефракцію, і широти φ пункту спостереження,

визначеної за великомасштабною картою, необхідно знати
схилення δ Сонця в момент його спостереження.

Таблиця 5

Рефракція (точність 1")
Середня рефракція ($t = 10^\circ$; $B = 760$ мм)

z °	Реф.	z ° ' "	Реф.	z ° ' "	Реф.	z ° ' "	Реф.	z ° ' "	Реф.	z ° ' "	Реф.
0	00	42 0	0 52	60 00	1 41	65 00	2 04	70 00	2 38	75 00	3 33
5	05	30	53	10	1 41	10	2 05	10	2 40	10	3 36
10	10	43 0	54	20	1 42	20	2 06	20	2 41	20	3 38
14	14	30	55	30	1 43	30	2 07	30	2 43	30	3 41
15	16	44 0	56	40	1 43	40	2 08	40	2 44	40	3 43
16	17	30	57	50	1 44	50	2 09	50	2 46	50	3 46
17	18	45 0	58								
18	19	30	59	61 00	1 45	66 00	2 10	71 00	2 47	76 00	3 49
19	20	46 0	1 00	10	1 45	10	2 11	10	2 49	10	3 51
20	21	30	01	20	1 46	20	2 12	20	2 50	20	3 54
21	22	47 0	1 02	30	1 47	30	2 13	30	2 52	30	3 57
22	24	30	03	40	1 47	40	2 14	40	2 53	40	4 00
23	25	48 0	1 05	50	1 48	50	2 15	50	2 55	50	4 03
24	26	30	06								
25	27	49 0	1 07	62 00	1 49	67 00	2 16	72 00	2 57	77 00	4 06
26	28	30	08	10	1 50	10	2 17	10	2 59	10	4 09
27	30	50 0	1 09	20	1 50	20	2 18	20	3 00	20	4 13
28	31	30	10	30	1 51	30	2 19	30	3 02	30	4 16
29	32	51 0	1 12	40	1 52	40	2 20	40	3 04	40	4 19
30	34	30	13	50	1 53	50	2 22	50	3 06	50	4 23
		52 0	1 14								
31	35	30	15	63 00	1 54	68 00	2 23	73 00	3 08	78 00	4 27
32	36	53 0	1 17	10	1 54	10	2 24	10	3 10	10	4 30
33	38	30	18	20	1 55	20	2 25	20	3 12	20	4 34
34	39	54 0	1 20	30	1 56	30	2 26	30	3 14	30	4 38
35	41	30	22	40	1 57	40	2 28	40	3 16	40	4 42
36	42	55 0	1 23	50	1 58	50	2 29	50	3 18	50	4 46
37	44	30	24								
38	45	56 0	1 26	64 00	1 59	69 00	2 30	74 00	3 20	79 00	4 50
39	47	30	27	10	2 00	10	2 32	10	3 22	10	4 55
40	49	57 0	1 29	20	2 01	20	2 33	20	3 24	20	4 59
°		30	31	30	2 02	30	2 34	30	3 26	30	5 04
41	51	58 0	1 33	40	2 02	40	2 36	40	3 29	40	5 08
0											
30	52	30	34	50	2 03	50	2 37	50	3 31	50	5 13
42	52	59 0	1 36								
0		30	38	65 00	2 04	70 00	2 38	75 00	3 33	80 00	5 18

t		Поправки на температуру t и барометрический тиск В																	
		-20°	-15°	-10°	-5°	0°	+5°	+10°	+15°	+20°	+25°	+30°	+35°	B	760	750	740	730	720
z																			
		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-
0°	0"	0"	0"	0"	0"	0"	0"	0"	0"	0"	0"	0"	0"	0°	0"	0"	0"	0"	0"
10	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	10	0	0	0	0	1
20	3	2	2	1	0	0	0	0	1	1	2	2	2	20	0	0	0	1	1
30	4	3	3	2	1	1	0	1	1	2	3	3	3	30	0	0	1	1	2
40	6	4	4	3	2	1	0	1	2	3	4	4	4	40	0	1	2	2	3
45	7	5	5	3	2	1	0	1	2	3	4	4	4	45	0	1	2	3	4
50	8	6	5	4	3	1	0	1	2	4	5	5	5	50	0	1	2	4	4
55	10	8	6	4	3	2	0	2	3	4	6	6	6	55	0	1	2	4	5
60	12	10	7	5	4	2	0	2	4	5	7	8	8	60	0	1	3	4	5
65	15	12	10	7	5	2	0	2	4	6	8	10	10	65	0	2	3	5	6
70	19	15	12	9	6	3	0	3	5	8	10	12	12	70	0	2	4	6	8
71	20	16	12	9	6	3	0	3	5	8	10	13	13	71	0	2	4	6	8
72	21	17	13	10	6	4	0	3	6	9	11	14	14	72	0	2	5	7	9
73	23	18	14	11	7	4	0	4	6	9	12	15	15	73	0	3	5	7	9
74	24	19	15	12	7	4	0	4	7	10	13	16	16	74	0	3	5	8	10
75	26	20	16	13	8	4	0	4	7	11	14	17	17	75	0	3	6	8	11
76	28	22	17	14	8	4	0	4	8	12	15	18	18	76	0	3	6	9	12
77	30	24	19	15	9	4	0	4	8	13	16	20	20	77	0	4	6	9	13
78	33	26	21	16	10	5	0	5	9	14	18	22	22	78	0	4	7	10	14
79	36	29	23	17	11	5	0	5	10	15	20	24	24	79	0	4	8	11	15
80	40	32	25	19	12	6	0	6	11	16	22	27	27	80	0	4	8	12	17
		+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	+	+	+	+	+
		-20°	-15°	-10°	-5°	0°	+5°	+10°	+15°	+20°	+25°	+30°	+35°		760	770	780	790	800

Схилення обчислюється за допомогою таблиці екваторіальних координат Сонця, розміщеної в Астрономічних щорічниках і Каталогах координат Сонця і яскравих зірок. У цій таблиці пряме сходження α , видиме схилення δ_0 , рівняння часу $+12^h$, зоряний час S_0 , а також годинні зміни ν_0 схилення Сонця і рівняння часу подані на 0^h всесвітнього часу.

Таблиця 6

Сонце

Дата	Видиме пряме сходження α	Видиме схилення δ_0	Годинні зміни	Рівняння часу $+12^h$	Годинні зміни	Зоряний час S_0
Жовтень						
1	8 42 46,6	18 11 58	-37,2	11 53 42,7	+0,13	20 36 29,3
2	8 46 39,8	17 56 56	-38,0	11 53 46,0	+0,15	20 40 25,8
3	8 50 32,4	17 41 36	-38,7	11 53 50,0	+0,18	20 44 22,4
4	8 54 24,4	17 25 58	-39,4	11 53 54,6	+0,20	20 48 18,9
5	8 58 15,7	17 10 04	-40,1	11 53 59,7	+0,23	20 52 15,5
6	9 02 06,5	16 53 53	-40,8	11 54 05,6	+0,26	20 56 12,0
7	9 05 56,6	16 37 26	-41,5	11 54 12,0	+0,28	21 00 08,6
8	9 09 46,1	16 20 43	-42,1	11 54 19,0	+0,30	21 04 05,1
9	9 13 35,0	16 03 44	-42,8	11 54 26,6	+0,33	21 08 01,7

Для визначення схилення момент спостереження, виражений, наприклад, по декретному часу T 2-го годинного поясу, спочатку за формулою (4.3) переобчислюється у всесвітній час T_0 ; якщо $T = 18^h 01^m$, то $T_0 = 18^h 01^m - (2^h + 1^h) = 15^h 01^m = 15^h,02$. Потім за датою спостереження з таблиці обирають значення схилення Сонця δ_0 і годинні зміни схилення ν_0 для моменту 0^h всесвітнього часу і за формулою

$$\delta = \delta_0 + \nu_0 T_0 \quad (7.7)$$

обчислюють схилення Сонця δ на момент спостереження.

Для прикладу, наведеного в табл. 7, $\delta_0 = +16^\circ 20' 43''$, $\nu_0 = -42'',1$, тому $\delta = +16^\circ 20' 43'' - 42'',1 \times 15,02 = +16^\circ 10' 05''$.

Такий спосіб обчислення схилення δ наближений, тому що прийняте при цьому значення годинної зміни ν_0 відповідає досить малому проміжку часу, в межах якого

розташовується 0^h . Він може бути застосований при визначенні азимута з точністю $\pm 30''$ і грубіше.

Таблиця 7

Приклад обчислення астрономічного азимута за висотою Сонця

Напрямок Окру, *nir* – ОПП-1

Дата 8 жовтня 2022 р.

Широта $\varphi = 56^\circ 28' 30''$

Довгота $\lambda = 30 14 42$

№ дій	Позначення	Прийоми	
		I	II
1	h	$17^\circ 52' 11''$	$16^\circ 31' 48''$
2	T	$18^h 01^m$	$18^h 14^m$
Обчислення схилення Сонця			
4	T_0	$15^h, 02$	$15^h, 23$
6	v	$- 42'', 3$	$- 42'', 3$
5	δ_0	$+ 16^\circ 20' 43''$	$+ 16^\circ 20' 43''$
7	$\Delta\delta = vT_0$	$- 10 35$	$- 10 44$
8	δ	$+ 16^\circ 10' 08''$	$+ 16^\circ 09' 59''$
Обчислення азимута Сонця			
9	$\sin \varphi$	0,83 364	0,83 364
11	$\sin h$	0,30 685	0,28 452
14	$\sin \varphi \sin h$	0,25 580	0,23 719
13	$\sin \delta$	0,27 847	0,27 843
15	$\sin \delta - \sin \varphi \sin h$	+0,02 267	+0,04124
10	$\cos \varphi$	0,55 230	0,55 230
12	$\cos h$	0,95 176	0,95 867
16	$\cos \varphi \cos h$	0,52 566	0,52 947
17	$\cos a'$	+0,04 313	+0,07 789
18	a'	$87^\circ 31' 40''$	$85^\circ 31' 58''$
Обчислення азимута напрямку			
19	a	$272^\circ 28' 20''$	$274^\circ 28' 02''$
3	Q	$151^\circ 58' 34''$	$149^\circ 59' 32''$
20	A	$64^\circ 26' 54''$	$64^\circ 27' 34''$
Обчислення дирекційного кута			
21	$A_{сер}$	$64^\circ 27' 14''$	
22	$-\gamma$	$+2 17 48$	
23	α	$66^\circ 45' 02''$	

При більш точних роботах, наприклад при визначенні азимута за годинним кутом Сонця, де, як побачимо далі, також необхідно мати схилення Сонця на момент його

спостереження, годинні зміни v необхідно знати на середній момент часу між 0^h і T_0 , тобто на момент $\frac{T_0}{2}$.

Схилення Сонця змінюється нелінійно. Наприклад, якщо на початку доби 8 жовтня 2022 року годинні зміни v_0 склали $-42''$,1, то до кінця цієї ж доби вони досягли величини $v_1 = -42''$,8.

Очевидно, за одну годину часу годинні зміни схилення у свою чергу змінюються на величину $\frac{v_1 - v_0}{24}$. Тоді в момент T_0 спостереження Сонця годинні зміни схилення v_T можна визначити з виразу

$$v_T = v_0 + \frac{v_1 - v_0}{24} T_0,$$

а в момент $\frac{T_0}{2}$.

$$v = \frac{v_0 + v_T}{24},$$

тобто

$$v = v_0 + \frac{v_1 + v_0}{48} T_0, \quad (7.8)$$

де v – годинні зміни схилення Сонця, з яким необхідно обчислити δ при строгому його визначенні;

v_0 , v_1 – годинні зміни схилення Сонця, відповідно для початку і кінця конкретної доби;

T_0 – момент спостереження Сонця у всесвітньому часі.

Враховуючі викладене, рівняння (7.7) буде мати вигляд

$$\delta = \delta_0 + v T_0. \quad (7.9)$$

Для полегшення обчислень поправку $\Delta v = \frac{v_1 - v_0}{48} T_0$ до годинної зміни v_0 можна вибрати безпосередньо з табл. 8, знаючи момент спостереження T_0 у всесвітньому часі і різ-

ницю годинних змін за добу. Якщо, наприклад, $v_0 = -42",1$; $v_I - v_0 = -0",7$ і $T_0 = 15^h$, то з табл. 8 $\Delta v = -0",2$, а $v = v_0 + \Delta v = -42",1 - 0",2 = -42",3$.

Визначивши схилення Сонця δ , за формулою (16),

$$\cos \alpha = \frac{\sin \delta - \sin \varphi \sinh}{\cos \varphi \cosh},$$

обчислюють його азимут на момент спостереження. Приклад обчислення азимута a Сонця і азимута A місцевого предмета наведений у табл. 7.

Таблиця 8

Поправки до табличного значення годинної зміни схилення Сонця

Все-світній час T_0	Поправки до v_0 (в сек) при різниці годинних змін $v_I - v_0$						
	0",2	0",4	0",6	0",8	1",0	1",2	1",3
6 ^h			0,1	0,1	0,1	0,1	0,2
8		0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2
10		0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3
12		0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3
14	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,4	0,4
16	0,1	0,1	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4
18	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5

(Знак поправки відповідає знаку $v_I - v_0$)

При переході від азимута a' першої чверті до азимута a будь-якої чверті необхідно враховувати знак $\cos a$ і час спостереження Сонця.

Ранком Сонце знаходиться в східній частині небосхилу, тобто в I або II чверті; увечері – в західній частині, тобто в III або IV чверті. Тому для обчислення азимута a Сонця у відповідній чверті необхідно використовувати формули, наведені в табл. 9, де через a' позначений кут I чверті.

Таблиця 9

Формули для обчислення азимута Сонця
у відповідній чверті

Знак $\cos a$	Ранок	Вечір
+	$a = a'$	$a = 360^\circ - a'$
-	$a = 180^\circ - a'$	$a = 180^\circ + a'$

Коливання між значеннями азимута A , обчисленого в різних прийомах, не повинно перевищувати $\pm 60''$ при визначенні азимута з точністю $\pm 30''$ і $1',5$ – при визначенні азимута з точністю $\pm 60''$.

3. Визначення азимута за висотами яскравих зірок

Спосіб визначення азимута за висотами яскравих зірок більш точний у порівнянні зі способом визначення азимута за висотою Сонця.

Це пояснюється тим, що при визначенні азимута за висотами зірок створюються кращі можливості для вибору оптимальних умов. Крім того, об'єктом візування служить точка, а не диск Сонця.

Таблиця 10

Допустимі умови визначення азимута за висотами яскравих зірок

Середня квадратична помилка визначення азимута	Межова висота місця спостереження	Допустимі значення горизонтних координат	
		висота	азимут
$\pm 10''$	65°	$20-60^\circ$	$50-130^\circ$ $230-310^\circ$
$\pm 15''$	65	20-60	45-135 225-315
$\pm 15''$	65-70	20-60	60-120 240-300
$\pm 30-60''$	70	10-60	40-140 220-320

Як уже зазначалося, азимут по висоті зірки найкраще визначати, якщо зірка знаходиться в елонгації; для зірок, які не мають елонгації, найкращим часом спостереження є момент, коли зірка проходить через перший вертикал. Чим з більшою точністю необхідно визначити азимут, тим

суворіше слід дотримуватися цих умов. У табл. 10 наведені допустимі умови визначення азимута з різною точністю.

Із цієї таблиці видно, що кут нахилу зорової труби теодоліта при спостереженні зірки може бути достатньо великим (до 60°). Тому допущене при горизонтуванні теодоліта відхилення його вертикальної осі від вискового положення може значною мірою спотворити результат вимірювання горизонтального кута Q між зіркою і місцевим предметом. Так, при спостереженні зірки на висоті 45° нахил вертикальної осі теодоліта ТБ-1, що дорівнює двом поділкам рівня з ціною поділки $16''$, викличе помилку в напрямку на зірку $\Delta i = i \operatorname{tgh} = 16'' \times 2 \times 1 = 32''$. Ця похибка не може бути виключена звичайним вимірюванням кута при двох положеннях вертикального круга. Але вона може бути значно послаблена, якщо при кожному положенні круга здійснювати горизонтування приладу, попередньо спрямувавши зорову трубу на зірку. У цьому випадку помилка юстування рівня при алідаді горизонтального круга буде викликати нахил вертикальної, а отже, і горизонтальної осі в різні боки при КЛ і КП. Тому середнє із відліків по горизонтальному кругу при спостереженні на зірку при КЛ і КП буде вільне від впливу помилки за нахил осі обертання зорової труби, викликаної нахилом вертикальної осі обертання теодоліта.

Для послаблення систематичних помилок вимірювання кута, зумовлених остаточною похибкою юстування рівня при алідаді горизонтального круга, доцільно скористатися такою методикою вимірювання кута.

До початку польових вимірювань теодоліт, ретельно перевірений щодо дотримання основних геометричних умов, встановлюється над заданою точкою місцевості й приводиться в робоче положення. При цьому два підйомних гвинти триноги розташовуються перпендикулярно напрямку на задалегідь обрану для спостереження яскра-

ву зірку, що задовольняє умови, наведені у табл. 10. Обрана зірка розпізнається за допомогою зоряної карти.

Потім при КЛ трубу наводять на місцевий предмет, азимут напрямку на який визначається, і на горизонтальному крузі встановлюють відлік, обчислений за формулою (7.3). Далі наближено розташовують трубу теодоліта у вертикалі спостережуваної зірки і уточнюють положення бульбашки рівня при алідаді горизонтального круга. Після цього приступають безпосередньо до спостережень, для чого спочатку наводять вертикальну нитку сітки на місцевий предмет, здійснюють відлік по горизонтальному кругу і записують його в журнал, а потім, обертаючи алідаду за рухом годинникової стрілки, наводять перехрестя сітки ниток на зірку, виводять бульбашку рівня при алідаді вертикального круга на середину і здійснюють відлік спочатку по вертикальному, а потім по горизонтальному кругам.

При КП знову встановлюють трубу у вертикалі світила, приводять бульбашку рівня при алідаді горизонтального круга на середину і після точного візування на зірку здійснюють відліки по обох кругах. Прийом закінчується наведенням на предмет і відліком по горизонтальному кругу.

Наступний прийом виконується в тій же послідовності, що й перший.

Часто для визначення азимута замість однієї зірки спостерігають кілька зірок із таким розрахунком, щоби була виконана необхідна кількість прийомів.

Зазначимо, що при визначенні азимута за висотами зірок спостерігачу не потрібно знати моменти часу спостереження зірки, тому що її схилення протягом однієї і навіть декількох діб практично залишається постійним.

Таблиця 11

Приклад ведення польового журналу при визначенні астрономічного азимута за висотами зірок

Назва зірки α Волопаса (α Boo)

Напрямок Сянки, сигн. – ОРП-1

Дата 25 жовтня 2022 р.

Прийм. I

Широта $\varphi = 56^{\circ}28'30''$

Температура $t = +15^{\circ}$

Довгота $\lambda = 30 14 42$

Тиск $B = 768$ мм

Теодоліт ОТ-02 № 9587

Назва напрямку	Круг	Відлік по штрихах лімба	Відлік по мікрометру		$\frac{a_1 + a_2}{2} \mu$	Л – П (2с)	Позначення	Значення напрямку
			a_1	a_2				
ОРП-1	Л	0° 36'	2°,5	2°,6	36' 05,1			
	П	180 36	0,2	0,3	36 00,5	+ 4",5	M =	0° 36' 02,8
Гор. круг	Л	131 22	12,5	12,5	22 25,0			
	П	311 56	36,1	36,3	57 12,4		C =	131 39 48,7
							Q =	228 56 14
Верг. круг	Л	107 02	0,0	0,0	02 00,0		h' =	32 52 05,6
	П	74 08	57,3	57,1	09 54,4		r =	- 1 29

Азимут зірки західний

$h = 32 50 37$

Таблиця 12

Видимі місця зірок

№ по АЩ, назва		345) α Boo	
Величина		0,24	
Дата		α	δ
		14 ^h 13 ^m	+ 19°22'
Жовтень	1	56,7	52
	11	56,6	53
	21	56,5	54
Листопад	1	56,3	54
	11	56,2	54
	21	56,0	54

Таблиця 13

Приклад обчислення астрономічного азимута за висотою зірки α Волопаса (α Boo) з точністю $\pm 15''$

Напрямок Сянки, сигн. – ОРП-1

Широта $\varphi = 56^{\circ} 28' 30''$

Довгота $\lambda = 30 14 42$

Дата 25 жовтня 2022 р. Довгота геодез. $L = 31 27 07$

Азимут зірки західний

№ дій	Позначення	Прийоми			
		I	II	III	IV
1	h	$32^{\circ} 50' 37''$	$30^{\circ} 04' 59''$	$28^{\circ} 42' 12''$	$26^{\circ} 52' 06''$
3	δ	$+19 22 54$	$+19 22 54$	$+19 22 54$	$+19 22 54$
Обчислення азимута зірки					
4	$\sin \varphi$	0,838 438	0,838 438	0,838 438	0,838 438
6	$\sin h$	0,542 348	0,501 255	0,480 275	0,451 942
9	$\sin \varphi \sin h$	0,454 725	0,420 271	0,402 681	0,378 935
8	$\sin \delta$	0,331 859	0,331 859	0,331 859	0,331 859
10	$\sin \delta - \sin \varphi \sin h$	-0,122 866	-0,088 412	-0,070 822	-0,047 066
5	$\cos \varphi$	0,544 997	0,544 997	0,544 997	0,544 997
7	$\cos h$	0,840 154	0,865 299	0,877 118	0,892 048
11	$\cos \varphi \cos h$	0,457 881	0,471 585	0,478 027	0,486 163
12	$\cos a'$	-0,268 336	-0,187 478	-0,148 155	-0,096 811
13	a'	$74^{\circ} 26' 05''$	$79^{\circ} 11' 40''$	$81^{\circ} 28' 48''$	$84^{\circ} 26' 40''$
Обчислення астрономічного азимута					
14	a	$254^{\circ} 26' 05''$	$259^{\circ} 11' 40''$	$261^{\circ} 28' 48''$	$264^{\circ} 26' 40''$
2	Q	$228^{\circ} 56' 14''$	$224^{\circ} 10' 55''$	$221^{\circ} 53' 18''$	$218 55 47$
15	A	$123^{\circ} 22' 19''$	$123^{\circ} 22' 35''$	$123^{\circ} 22' 06''$	$123^{\circ} 22' 27''$
Обчислення геодезичного азимута					
16	$A_{сеп}$		$123^{\circ} 22' 22''$		
17	$(L - \lambda) \sin \varphi$		- 7		
18	A_r		$123^{\circ} 22' 15''$		
Обчислення дирекційного кута					
19	$-\gamma$		$+1^{\circ} 17' 50''$		
20	δ		0		
21	α		$124^{\circ} 40' 05''$		

При обробці результатів спостереження зірки в польовому журналі спочатку виводяться середні значення M і C із відліків по горизонтальному кругу, а потім обчислюється горизонтальний кут Q між напрямками на світило і місцевий предмет та висота h , виправлена за допомогою таблиць поправкою r на астрономічну рефракцію.

Азимут a зірки, як і Сонця, обчислюється за формулою (15), при цьому схилення δ вибирається з таблиці «Видимі місця зірок» Астрономічного щорічника або Каталогу координат Сонця і яскравих зірок (див. табл. 12), а широта φ визначається по карті масштабу 1: 50 000 і крупніше. При визначенні азимута з точністю $\pm 15''$ і точніше широта повинна визначатися з астрономічних спостережень, тому що в цьому випадку карта не може забезпечити необхідну точність її отримання.

Приклад обчислення астрономічного азимута, що визначається з точністю $\pm 15''$, наведений у табл. 13.

Значення азимута напрямку, отримані з різних прийомів або зі спостережень різних зірок, повинні узгоджуватися в межах потрібної величини середньої квадратичної помилки азимута при визначенні його з точністю $\pm 10''$ і $\pm 15''$; подвійної – з точністю $\pm 30''$ і півтори – з точністю $\pm 60''$.

За остаточне значення береться середнє арифметичне із часткових значень азимута.

4. Визначення азимута за годинним кутом Полярної

Близькість Полярної до північного полюсу світу і, отже, її повільне видиме переміщення протягом доби дозволяє визначати азимут цієї зірки з високою точністю. Крім того, у цьому випадку значно спрощуються обчислювальні роботи, особливо при наближених визначеннях азимута. Розглянемо два види визначення азимута по годинному куту Полярної: 1) з точністю ± 30 – $60''$ та 2) з точністю ± 10 – $15''$.

4.1. Наближене визначення азимута

Нехай на рис. 39 зображений паралактичний трикутник, в якому світило σ є полярною зіркою.

Для виведення формули азимута Полярної проведемо перпендикуляр σK до сторони PZ і позначимо $PK = x$, $\sigma K = y$.

Розглядаючи прямокутний трикутник $P\sigma K$, бачимо, що його сторони недовгі, тому такий трикутник можна вважати плоским. Зважаючи на це, будемо мати:

$$\begin{aligned}x &= \Delta \cos t; \\y &= \Delta \sin t.\end{aligned}\tag{7.10}$$

Із прямокутного сферичного трикутника $K\sigma Z$, в якому $KZ = (90^\circ - \varphi) - x$, отримаємо

$$\cos(\varphi + x) = \operatorname{ctg}(90^\circ - y) \operatorname{ctg}(360^\circ - a).$$

Враховуючи, що $\operatorname{ctg}(360^\circ - a) = -\operatorname{ctg} a$, отримаємо

$$\cos(\varphi + x) = -\frac{\operatorname{tg} y}{\operatorname{tg} a}$$

або

$$-\operatorname{tg} a = \frac{\operatorname{tg} y}{\cos(\varphi + x)}.$$

Зважаючи на те, що величини a і y невеликі, можна прийняти $\operatorname{tg} a = \frac{a}{\rho}$; $\operatorname{tg} y = \frac{y}{\rho}$. Тоді, з урахуванням позначень (7.10), остаточно отримаємо

$$-a = \frac{\Delta \sin t}{\cos(\varphi + \Delta \cos t)}.\tag{7.11}$$

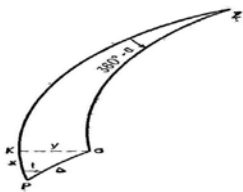


Рис. 39. Паралактичний трикутник з Полярною зіркою

З цієї формули видно, що для визначення азимута Полярної в будь-який момент часу необхідно знати її полярну відстань Δ , широту місця спостереження φ і годинний кут t у цей момент.

Знаючи пряме сходження α і місцевий зоряний час s , годинний кут Полярної, як і будь-якого іншого світила, можна визначити за формулою

$$t = s - \alpha,\tag{7.12}$$

безпосередньо отриманої з рівняння (69).

Нехай потрібно визначити годинний кут t Полярної в момент її спостереження, що відповідає $0^{\text{h}}11^{\text{m}}54^{\text{s}}$ декретного часу 2 жовтня 2022 р. на пункті, довгота якого $\lambda = 31^{\circ}12'42''$ ($2^{\text{h}}04^{\text{m}}51^{\text{s}}$).

При розв'язанні цієї задачі спочатку перейдемо від декретного часу T до всесвітнього часу T_0 за формулою

$$T_0 = T - (N + 1),$$

де N – номер годинного поясу.

Відомо, що годинний пояс по довготі становить 15° , при цьому довгота середнього меридіана λ_0 першого пояса дорівнює 15° . Тому номер годинного поясу визначається рівнянням

$$N = \frac{\lambda_0}{15}.$$

Отже, пункт із зазначеною вище довготою знаходиться у другому поясі, де $\lambda_0 = 30^{\circ}$. Звідси $T_0 = 0^{\text{h}}11^{\text{m}}54^{\text{s}} - (2+1)^{\text{h}} + 24^{\text{h}} = 21^{\text{h}}11^{\text{m}}54^{\text{s}}$. Зазначимо, що за всесвітнім часом спостереження виконані $21^{\text{h}}11^{\text{m}}54^{\text{s}}$ 1 жовтня.

Тепер за таблицею «Сонце» Астрономічного щорічника або Каталогом координат Сонця і яскравих зірок по аргументу «дата спостереження» знаходимо зоряний час S_0 у гринвіцьку північ. Якщо звернутися до табл. 6, то 1 жовтня 2022 р. $S_0 = 20^{\text{h}}36^{\text{m}}29^{\text{s}}$.

Виразимо всесвітній час T_0 в одиницях зоряного часу. Для цього до всесвітнього часу T_0 , вираженого в одиницях середнього сонячного часу, додамо поправку

$$\Delta T_0 = \mu T_0, \quad (7.13)$$

де $\mu = 9^{\text{s}},856$ являє собою різницю тривалості середньої та зоряної години. При визначенні азимута з точністю $\pm 30''$ і грубіше μ закруглюють до 10 секунд.

У нашому прикладі $\Delta T_0 = 10^{\text{s}} \times 21,2 = 212^{\text{s}} = 3^{\text{m}}32^{\text{s}}$.

Якщо скласти зоряний час S_0 на початковому меридіані о 0^{h} всесвітнього часу, всесвітній час T_0 моменту спостереження Полярної і поправку до нього ΔT_0 на переведення

одиниць середнього часу в зор'яні одиниці, тобто взяти суму $S_o + T_o + \Delta T_o$, то отримаємо зоряний час моменту спостереження Полярної на початковому (гринвіцькому) меридіані.

Оскільки різниця місцевого часу двох точок дорівнює різниці їхньої довготи, то місцевий зоряний час пункту спостереження визначається з рівняння

$$s = S_o + T_o + \Delta T_o + \lambda. \quad (7.14)$$

Пряме сходження α Полярної на 0^h всесвітнього часу на кожний день року подається в таблиці «Видимі місця Полярної» Астрономічного щорічника або Каталогу координат Сонця і яскравих зірок. О 21^h 1 серпня $\alpha = 1^h57^m56^s$ (табл. 14).

Таблиця 14

α U Mi		Видимі місця Полярної	
		Величина 2,12	
Дата		α	δ
		1^h57^m	$+ 89^\circ 04'$
Жовтень	1	$55^s,1$	$59''$
	2	$56,3$	59
	3	$57,6$	59
	4	$58,8$	59
	5	$60,0$	59
	6	$61,3$	59
	7	$62,6$	60
	8	$64,0$	60
	9	$65,4$	60
	10	$66,8$	60

Отримавши місцевий зоряний час s і пряме сходження α , за формулою (7.12) обчислюють годинний кут t Полярної, що відповідає моменту її спостереження на даному меридіані:

$$t = 19^h56^m46^s - 1^h57^m56^s = 17^h58^m50^s.$$

Спостереження Полярної може бути виконано в будь-який час доби, за винятком 30-хвилинного періоду до заходу і сходу Сонця й такого самого періоду після заходу та сходу його (в цей час значно змінюється рефракція).

Знайти Полярну на небосхилі в безхмарну ніч не складає великих труднощів, якщо зірки α і β сузір'я Великої Ведмедиці уявно з'єднати прямою, продовживши її в напрямку зірки α на відстань, що перевищує відрізок $\alpha\beta$ приблизно у 5 разів.

Основне утруднення при спостереженні Полярної у світлий час доби полягає в її відшукуванні, тому що неозброєним оком її не побачиш. Але її можна знайти, якщо трубу теодоліта орієнтувати по значеннях горизонтних координат Полярної (висот h і азимут a).

Наближене значення горизонтних координат можна визначити за таблицею «Висоти і азимути Полярної» (табл. 15), яка наведена в Астрономічному щорічнику і Каталозі координат Сонця та яскравих зірок. Аргументами в ній служать місцевий зоряний час s і широта φ пункту спостереження. Тому при роботі з годинниками, які працюють за декретним часом, передбачені моменти спостереження, виражені в декретному часі, переводять за формулою (7.14) у зоряний час.

Висота північного полюсу світу, як відомо, дорівнює широті пункту спостереження. Тому, зважаючи на те, що кут a' невеликий (на рис. 39 кут a' позначений через $360^\circ - a$), можна зазначити, що $z = ZK = 90^\circ - \varphi - x$. Увівши позначення $x = f$, отримаємо

$$h = 90^\circ - z = \varphi + f. \quad (7.15)$$

Таблиця 15

Висоти й азимути Полярної

s	f	φ										s	
		35°	40°	45°	50°	55°	60°	62°	64°	66°	68°		
h m	° ′	° ′	° ′	° ′	° ′	° ′	° ′	° ′	° ′	° ′	° ′	° ′	h m
11 17	-0 42	0 43	0 45	0 49	0 54	1 00	1 09	1 13	1 18	1 24	1 32	16 37	
11 37	-0 45	0 38	0 41	0 44	0 48	0 54	1 01	1 05	1 10	1 15	1 21	16 17	
11 57	-0 47	0 33	0 35	0 38	0 42	0 47	0 53	0 57	1 01	1 05	1 11	15 57	
12 17	-0 50	0 28	0 30	0 32	0 35	0 40	0 45	0 48	0 51	0 55	1 00	15 37	
12 37	-0 51	0 23	0 24	0 26	0 29	0 32	0 36	0 39	0 42	0 45	0 48	15 17	
12 57	-0 53	0 17	0 18	0 20	0 22	0 24	0 28	0 29	0 31	0 34	0 36	14 57	
13 17	-0 54	0 11	0 12	0 13	0 14	0 16	0 19	0 20	0 21	0 23	0 24	14 37	
13 37	-0 54	0 06	0 06	0 07	0 07	0 08	0 09	0 10	0 11	0 11	0 12	14 17	
13 57	-0 55	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	13 57	

У табл. 15 розміщені величини f і a' , обчислені за формулами (7.10) і (7.11) через 20-хвилинні проміжки часу.

Величина f вибирається з першого стовпця таблиці за аргументом s . Азимут a' знаходиться в решті стовпців за аргументами s і φ ; він відраховується від точки півночі й буде західним (від'ємним) для значень s , записаних у лівій частині таблиці, і східним (додатним) для значень s , записаних у правій частині.

Таблиця 16

Приклад складання робочих ефемерид Полярної
 Широта $\varphi = 58^\circ 28'$ Довгота $\lambda = 31^\circ 13'$ (2^h04^m,8)

Позначення	Дата і передбачені моменти спостережень (за московським часом)		
	6 серпня 2011 р.		
	19 ^h 00 ^m	19 ^h 30 ^m	20 ^h 00 ^m
T	19 ^h 00 ^m ,0	19 ^h 30 ^m ,0	20 ^h 00 ^m ,0
$N+1$	3	3	3
T_o	16 ^h 00 ^m ,0	16 ^h 30 ^m ,0	17 ^h 00 ^m ,0
ΔT_o	2,7	2,7	2,8
S_o	20 56,2	20 56,2	20 56,2
λ	2 04,8	2 04,8	2 04,8
s	15 ^h 04 ^m	15 ^h 34 ^m	16 ^h 04 ^m
φ	58°28'	58°28'	58°28'
f	-0 52	-0 50	-0 46
h	57°36'	57°38'	57°42'
a'	+0 30	+0 42	+0 54

У табл. 16 наведений приклад обчислення наближених значень горизонтних координат Полярної. Таблиці наближених значень горизонтних координат, що використовуються для відшукування світила на небесній сфері, називають робочими ефемеридами.

Значення висоти Полярної встановлюється на вертикальному крузі теодоліта з урахуванням особливостей цифрування його поділок.

Наприклад, вважаючи місце нуля (місце зеніту) таким, що дорівнює нулю, відліки по вертикальному кругу, що відповідають висоті Полярної о 19^h30^m 6 жовтня 2022 р., повинні дорівнювати:

– для теодолітів ОТ-02 –

$$\text{КЛ} = 90^\circ + \frac{h}{2} = 90^\circ + 28^\circ 49' = 118^\circ 49',$$

$$\text{КП} = 90^\circ - \frac{h}{2} = 90^\circ - 28^\circ 49' = 61^\circ 11';$$

– для теодолітів ТБ-1 –

$$\text{КЛ} = z = 90^\circ - h = 90^\circ - 57^\circ 38' = 32^\circ 22',$$

$$\text{КП} = 360^\circ - z = 360^\circ - (90^\circ - h) = 360^\circ - 32^\circ 22' = 327^\circ 38'.$$

Напрямок меридіана, необхідний для встановлення труби теодоліта по азимуту, визначається за допомогою бусолі. При цьому враховується магнітне схилення в пункті спостереження.

Кут β між площиною магнітного меридіана й напрямком на Полярну визначається з рівняння

$$\beta = a' - \delta, \quad (7.16)$$

де δ – магнітне схилення в пункті спостереження, взяте з топографічної карти.

Слід мати на увазі, що навіть при орієнтованій трубці теодоліта по заздалегідь складених ефемеридах побачити Полярну у світлий час доби може тільки уважний і достатньо зіркий спостерігач. Не треба також забувати, що при відшукуванні будь-якого світила зорова труба повинна

бути попередньо відфокусована на нескінченність по віддаленому предмету.

Відшукавши зірку, приступають безпосередньо до її спостереження. Спостереження, пов'язані з визначенням азимута напрямку на місцевий предмет за годинним кутом Полярної, полягає у вимірюванні горизонтального кута Q між Полярною та місцевим предметом і часу, що відповідає середньому моменту цього вимірювання.

Час, як було зазначено вище, використовується при визначенні годинного кута t , тому він повинен бути вимірний достатньо точно (з точністю 5–10 секунд при визначенні азимута із середньою квадратичною помилкою $\pm 30\text{--}60''$).

Для визначення поправки годинник звіряють із радіомовними сигналами часу до і після спостережень.

Порядок спостережень при визначенні астрономічного азимута за годинним кутом Полярної такий.

Круг ліво

1. Наближене наведення на місцевий предмет (марку) і встановлення на горизонтальному крузі початкового відліку.

2. Наближене встановлення візирної осі труби теодоліта у вертикалі Полярної і приведення бульбашки рівня при алідаді горизонтального круга на середину.

3. Наведення на марку і відлік по горизонтальному кругу.

4. Наведення на Полярну, відлік по команді «Увага», ... «Є» по годиннику, відлік по горизонтальному кругу.

Круг право

5. Наближене наведення на Полярну, встановлення бульбашки рівня при алідаді горизонтального круга на середину.

6. Точне наведення на Полярну, відлік по годиннику, відлік по горизонтальному кругу.

7. Наведення на марку і відлік по горизонтальному кругу.

Таблиця 17

Приклад ведення польового журналу при визначенні астрономічного азимута за годинним кутом Полярної з точністю $\pm 30-60''$

Напрямок 17, *nip.* – ОРП-2

Дата 2 жовтня 2022 р.

Широта $\varphi = 56^{\circ}28'30''$

Довгота $\lambda = 30 14 42$

Прийом I

Теодоліт ТБ-1 № 151 567

Визначення поправки годинника

о 22^h 1 жовтня $T_1 = 22^{\text{h}}00^{\text{m}}38^{\text{s}}$ $u_1 = -0^{\text{h}}38^{\text{m}}$;

о 1^h 2 жовтня $T_2 = 1^{\text{h}}00^{\text{m}}42^{\text{s}}$, $u_2 = -0^{\text{h}}42^{\text{m}}$

$$\text{Годинний хід годинника } \omega = \frac{u_1 - u_2}{T_2 - T_1} = -\frac{4^{\text{s}}}{3} = -1^{\text{s}},3$$

Назва напрямку	Круг	Відлік по штрихам лімба	Відліки по мікрометру		$\frac{a_1 + a_2}{2}$	Л – П (2 с)	Позначення	Значення напрямку
			a_1	a_2				
ОРП-2	Л	0° 01'	59"	57"	01' 58"			
	П	180 01	47	48	01 48	+ 10"	М =	0°01'53"
Гор. круг	Л	20 26	20	20	26 20		С =	20 26 55
	П	200 27	31	30	27 30		Q =	339 34 58
Годинники	Л	0 ^h 11 ^m	30 ^s					
	П	0 13	40					
T'	=	0 ^h 12 ^m	35 ^s					
u	=	– 0	41					
T	=	0 ^h 11 ^m	54 ^s					

Таблиця 18

Приклад обчислення астрономічного азимута за годинним кутом Полярної (α *UMi*) з точністю $\pm 30''$

Напрямок *Димка, пір.* – *ОРП-2*

Дата 2 жовтня 2022 р. Широта $\varphi = 56^{\circ}28'30''$

Час київський

Довгота $\lambda = 30^{\circ}14'42'' = 2^{\text{h}}04^{\text{m}}51^{\text{s}}$

№ дій	Позначення	Прийоми		
		I	II	III
Обчислення місцевого зоряного часу				
1	T	$0^{\text{h}}11^{\text{m}}54^{\text{s}}$	$0^{\text{h}}22^{\text{m}}17^{\text{s}}$	$0^{\text{h}}38^{\text{m}}04^{\text{s}}$
6	$-(N + 1)$	-3	-3	-3
7	T_0 ; дата	$21^{\text{h}}11^{\text{m}}54^{\text{s}}$; 1.8	$21^{\text{h}}22^{\text{m}}17^{\text{s}}$; 1.8	$21^{\text{h}}38^{\text{m}}04^{\text{s}}$; 1.8
8	ΔT_0	3 32	3 34	3 36
9	S_0	20 36 29	20 36 29	20 36 29
5	λ	2 04 51	2 04 51	2 04 51
10	s	$19^{\text{h}}56^{\text{m}}46^{\text{s}}$	$20^{\text{h}}07^{\text{m}}11^{\text{s}}$	$20^{\text{h}}23^{\text{m}}00^{\text{s}}$
Обчислення годинного кута Полярної				
3	α	$1^{\text{h}}57^{\text{m}}56^{\text{s}}$	$1^{\text{h}}57^{\text{m}}56^{\text{s}}$	$1^{\text{h}}57^{\text{m}}56^{\text{s}}$
11	$t^{\text{h}} = s - \alpha$	17 58 50	18 09 15	18 25 04
12	t°	$269^{\circ}42'30''$	$272^{\circ}18'45''$	$276^{\circ}16'00''$
Обчислення азимута Полярної				
4	δ	$89^{\circ}04'59''$	$89^{\circ}04'59''$	$89^{\circ}04'59''$
13	Δ	0 55 01	0 55 01	0 55 01
17	$\Delta'' \sin t$	- 3301''	- 3298''	- 3281''
15	$\sin t$	-0,99999	-0,99919	-0,99402
14	Δ''	3301''	3301''	3301''
16	$\cos t$	-0,00509	+0,04035	+0,10916
18	$\Delta'' \cos t$	- 17''	+ 133''	+ 360''
19	$\Delta \cos t$	- 0'17''	+ 2'13''	+ 6'00''
20	$\varphi + \Delta \cos t$	$58^{\circ}28'13''$	$58^{\circ}30'43''$	$58^{\circ}34'30''$
21	$\cos(\varphi + \Delta \cos t)$	0,52294	0,52232	0,52138
22	$-a''$	- 6312''	- 6314''	- 6293''
Обчислення азимута напрямку				
23	a	+ $1^{\circ}45'12''$	+ $1^{\circ}45'14''$	+ $1^{\circ}44'53''$
2	Q	339 34 58	339 35 10	339 34 58
24	A	$341^{\circ}20'10''$	$341^{\circ}20'24''$	$341^{\circ}19'51''$
Обчислення дирекційного кута				
25	$A_{\text{сер}}$		$341^{\circ}20'08''$	
26	$-\gamma$		+ 1 31 28	
27	α		$342^{\circ}51'36''$	

Усі ці дії складають один прийом спостережень. Необхідна кількість таких прийомів залежить від точності визначення азимута й використовуваного приладу.

Зміст і послідовність обчислення астрономічного азимута за годинним кутом Полярної можна простежити у прикладі наведеному в табл. 18.

Ці обчислення здійснені відповідно до наближеної формули (7.11). До точності широти φ тут великих вимог не висувається. Вона може бути отримана по топографічній карті з похибкою $\pm 5-15''$ залежно від точності визначення азимута.

4.2. Визначення азимута за годинним кутом Полярної з точністю $\pm 10-15''$

Польові роботи при астрономічному визначенні азимута за годинним кутом Полярної з точністю $\pm 10-15''$, як і при розглянутому вище наближеному способі, полягає у вимірюванні горизонтального кута між Полярною та земним предметом і у відліку по годиннику часу в момент спостереження Полярної. Різниця лише в точності цих вимірювань.

При точному визначенні азимута застосовують більш точні прилади – великі оптичні теодоліти ОТ-02, ОТ-02 М, Т-1 та ін. При цьому порядок вимірювань залишається аналогічним до наближеного визначення. Але для підвищення точності при кожному положенні круга вертикальну нитку сітки наводять як на Полярну, так і на місцевий предмет двічі (див. табл. 19). Отже, записане в польовому журналі значення M є середнім із чотирьох відліків по горизонтальному кругу при візуванні на місцевий предмет (марку), а значення C і T' – середнє із чотирьох відліків при візуванні на Полярну відповідно по горизонтальному кругу і по годиннику.

Кількість прийомів залежить від точності визначення азимута. При визначенні азимута з точністю $\pm 10-15''$ теодолітом ОТ-02 виконуються відповідно чотири і три прийоми.

Формула (7.11), яка використовується при обчисленні наближеного азимута за годинним кутом Полярної, не строга, оскільки при її виведенні сферичний трикутник σKP (рис. 39) був прийнятий за плоский. Окрім того, при заміні tga і tgy були враховані тільки перші члени розкладення тангенсів у ряд. Тому при точному визначенні астрономічного азимута використовується строга формула (20)

$$tga = -\frac{\cos \delta \sin t}{\sin \delta \cos \varphi - \cos \delta \sin \varphi \cos t} \cdot \cdot,$$

якій можна надати більш зручний для обчислення вигляд, якщо її чисельник і знаменник поділити на $\sin \delta \cos \varphi$. Тоді

$$tga = -\frac{ctg \delta \sec \varphi \sin t}{1 - ctg \delta \tg \varphi \cos t}.$$

Уведемо позначення

$$\begin{aligned} i \quad & ctg \delta \sec \varphi = m \\ & ctg \delta \tg \varphi = n. \end{aligned} \quad (7.18)$$

Значення членів m і n при спостереженні Полярної протягом доби практично залишаються незмінними, тому формулу (20) зручніше використовувати з урахуванням позначень (7.18), тобто в такому вигляді:

$$tga = -\frac{m \sin t}{1 - n \cos t}. \quad (7.19)$$

Згідно з прийнятою вище методикою спостереження (див. табл. 19), у кожному прийомі можна було б обчислити чотири значення азимута Полярної, що відповідають моментам візування на неї. Оскільки спостереження здійснюються при двох положеннях круга, то середнє з цих чотирьох значень буде вільним від похибок на нахил

горизонтальної осі теодоліта і на колімацію візирної осі зорової труби. Але такий шлях пов'язаний із великим обсягом обчислювальних робіт.

Таблиця 19

Приклад ведення польового журналу при визначенні азимута за годинним кутом Полярної з точністю $\pm 10-15''$

Напрямок *Турка, сигн. – 25, пір.*

Дата 6 жовтня 2022 р.

Широта $\varphi = 58^{\circ}28'33''$

Довгота $\lambda = 31^{\circ}12'44''$

Прийом I

Теодоліт *OT-02 № 4756*

Визначення поправки годинника

о 18^h 6 жовтня $T_1 = 18^{\text{h}}00^{\text{m}}20^{\text{s}},4$ $u_1 = -0^{\text{m}}20^{\text{s}},4$

о 22^h 6 жовтня $T_2 = 22^{\text{h}}00^{\text{m}}20^{\text{s}},0$ $u_2 = -0^{\text{m}}20^{\text{s}},0$

$$\text{Годинний хід годинника } \omega = \frac{u_1 - u_2}{T_2 - T_1} = +0^{\text{s}},1$$

Назва напрямку	Круг	Відлік по штрихах лімба	Відліки по мікрометру		$\frac{a_1 + a_2}{2}$	Л - П (2 с)	Позначення	Значення напрямків
			a_1	a_2				
25, пір.	Л	0°00'	11 ^o ,3	11 ^o ,5	00'22",8			
	П	180 00	08,0	08,2	00 16,2	+6",6	M =	0° 00' 19",0
1-е наведення	Л	222 50	26,5	26,5	50 53,0		C =	222 54 40,8
	П	42 56	22,9	22,8	56 45,7		Q =	137 05 38,2
2-е наведення	Л	222 52	27,2	27,6	52 55,0			
	П	42 58	04,9	04,8	58 09,7			
25, пір	Л	0 00	10,8	10,7	00 21,5			
	П	180 00	07,9	07,6	00 15,5	+ 6,0		
Годинники				ΔT	$2\rho'' \sin^2 \frac{\Delta T}{2}$		$\frac{1}{4} \sum 2\rho'' \sin^2 \frac{\Delta T}{2}$	
1-е наведення	Л	19 ^h 09 ^m	00 ^s	+9 ^m 22 ^s	172"			
	П	19 23	34	-5 12	53		100"	
2-е наведення	Л	19 14	06	+4 16	36			
	П	19 26	46	-8 24	138			
T'	=	19 ^h 18 ^m	22 ^s	+ 2 ^s	399"			
u	=		20					
T	=	19 ^h 18 ^m	02 ^s					

При визначенні азимута з точністю $\pm 5-15''$ в кожному прийомі обчислюють тільки одне значення азимута a' на середній момент спостережень

$$T = \frac{1}{n}(T_1 + T_2 + \dots + T_n),$$

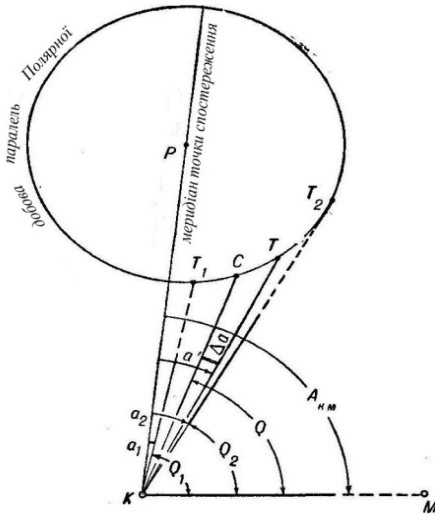


Рис.40. Непропорційність зміни азимута світила з часом

Азимут Полярної, як і будь-якої іншої зірки, змінюється не пропорційно часу. Наприклад, на широті 60° в момент кульмінації зірки ці зміни складають приблизно $10'$ на годину, тоді як в елонгації воно близьке до нуля. Тому значення азимута, обчислене по середньому моменту спостережень, буде помилковим на деяку величину Δa .

Нехай у прийомі було здійснено два візування на Полярну в моменти T_1 і T_2 , коли вона знаходилась на добовій паралелі відповідно в точках T_1 і T_2 (рис. 40). Тоді середнь-

де n – кількість візувань на світило. Потім визначають азимут A місцевого предмета за формулою

$$A = a' + Q, \quad (7.20)$$

де

$$Q = \frac{1}{n}(Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n)$$

– середнє арифметичне зі значень горизонтальних кутів між світилом і місцевим предметом (кути Q_i відповідають моментам візування T_i).

ому моменту $T = \frac{1}{2}(T_1 + T_2)$ буде відповідати азимут світила a' і азимут місцевого предмета $A_{KM} = a' + \angle TKM$. Практично ж до a' додають не кут TKM , а кут $Q = \frac{1}{2}(Q_1 + Q_2)$.

По рисунку неважко помітити, що $\frac{1}{2}(Q_1 + Q_2)$ відповідає куту, складеному даним напрямком KM з бісектрисою KC кута T_1KT_2 . Отже, при отриманні азимута A до кута a' додається кут CKM замість кута TKM . Отже, азимут місцевого предмета, обчислений по середньому моменту спостереження, буде помилковим на величину кута $CKT = \Delta a$. Цей кут може бути обчислений за формулою

$$\Delta a = -\operatorname{tg} a' \cdot \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} 2\rho'' \sin^2 \frac{\Delta T_i}{2}, \quad (7.21)$$

де Δa – поправка до азимута a' ;

a' – азимут світила, обчислений на середній момент спостереження;

n – кількість візувань на зірку;

ΔT_i – відхилення окремих моментів візування від середнього моменту спостереження в прийомі.

Із цієї формули видно, що поправка Δa буде дорівнювати нулю в момент кульмінації зірки й досягає найбільшої величини в період її елонгації. При цьому поправка буде тим значнішою, чим більша тривалість спостереження в прийомі. Східний азимут світила повинен бути зменшений ($\Delta a < 0$), західний – збільшений ($\Delta a > 0$).

Величини $2\rho'' \sin^2 \frac{\Delta T_i}{2}$ можна вибирати за аргументами ΔT із таблиць, наведених у Посібнику РГ-2 (с. 340).

Таблиця 20

Приклад обчислення астрономічного азимута за годинним кутом Полярної з точністю $\pm 10''$

Напрямок *Турка, сигн. – 25, нр.*

Дата 6 жовтня 2022 р.

Широта

$\phi = 56^{\circ}28'33''$

Час київський

Довгота

$\lambda = 31^{\circ}12'44'' = 2^{\text{h}}04^{\text{m}}51^{\text{s}}$

Довгота геодезич. $L = 31^{\circ}12'51''$

№ дій	Позначення	Прийоми			
		I	II	III	IV
Обчислення місцевого зоряного часу					
1	T	19 ^h 18 ^m 02 ^s	19 ^h 41 ^m 59 ^s	20 ^h 12 ^m 01 ^s	20 ^h 35 ^m 30 ^s
6	$-(N+1)$	-3	-3	-3	-3
7	T_o	16 ^h 18 ^m 02 ^s	16 ^h 41 ^m 59 ^s	17 ^h 12 ^m 01 ^s	17 ^h 35 ^m 30 ^s
8	ΔT_o	2 41	2 45	2 50	2 53
9	S_o	20 56 12	20 56 12	20 56 12	20 56 12
3	λ	2 04 51	2 04 51	2 04 51	2 04 51
10	s	15 ^h 21 ^m 46 ^s	15 ^h 45 ^m 47 ^s	16 ^h 15 ^m 54 ^s	16 ^h 39 ^m 26 ^s
Обчислення годинного кута Полярної					
4	α	1 ^h 58 ^m 02 ^s	1 ^h 58 ^m 02 ^s	1 ^h 58 ^m 02 ^s	1 ^h 58 ^m 02 ^s
11	$t^h = s - \alpha$	13 23 44	13 47 45	14 17 52	14 41 24
12	t°	200 [°] 56'00"	206 [°] 56'15"	214 [°] 28'00"	220 [°] 21'00"
Обчислення азимута Полярної					
5	δ	+89 [°] 05'00"	+89 [°] 05'00"	+89 [°] 05'00"	+89 [°] 05'00"
20	$m \sin t$	-0,010933	-0,013863	-0,017318	-0,019813
13	$\sin t$	-0,357281	-0,453019	-0,565927	-0,647455
18	m	+0,030601	+0,030601	+0,030601	+0,030601
15	$\sec \phi$	+1,912564	+1,912564	+1,912564	+1,912564
17	$\text{ctg } \delta$	+0,016000	+0,016000	+0,016000	+0,016000
16	$\text{tg } \phi$	+1,630308	+1,630308	+1,630308	+1,630308
19	n	+0,026085	+0,026085	+0,026085	+0,026085
14	$\cos t$	-0,933997	-0,891501	-0,824456	-0,762104
21	$n \cos t$	-0,024363	-0,023255	-0,021506	-0,019879
22	$1 - n \cos t$	+1,024363	+1,023255	+1,021506	+1,019879
23	$\text{tg } a'$	+0,010673	+0,013548	+0,016953	+0,019427
24	a'	+0 [°] 36'41",4	+0 [°] 46'34",3	+0 [°] 58'16",5	+1 [°] 06'46",7
25	Δa	- 1, 1	- 1, 3	- 1, 5	- 1, 6
Обчислення астрономічного азимута					
26	a	+0 [°] 36'40",3	+0 [°] 46'33",0	+0 [°] 58'15",0	+1 [°] 06'45",1
2	Q	137 05 38,2	136 55 41,3	136 43 57,4	136 35 23,9
27	A	137 [°] 42'18",5	137 [°] 42'14",2	137 [°] 42'12",4	137 [°] 42'09",0
28	$A_{\text{сер}}$		137 42 14		
Обчислення геодезичного азимута					
29	$(L - \lambda) \sin \phi$		+ 6"		
30	A_g		137 42 20		
Обчислення дирекційного кута					
31	$-\gamma$		+ 1 [°] 31' 26"		
32	δ		- 2"		
33	α		139 [°] 13'44"		

Отже, при визначенні астрономічного азимута за годинним кутом Полярної з точністю $\pm 5-15''$ спочатку обчислюють азимут світила a' за формулою (7.19) із середнім моментом спостереження в прийомі, а потім визначають із прийому азимут A місцевого предмета, користуючись рівнянням

$$A = a' + \Delta a + Q. \quad (7.22)$$

Приклад такого обчислення наведений у табл. 20.

Порядок переходу від астрономічного азимута місцевого предмета до дирекційного кута того ж напрямку розглянемо далі.

5. Визначення азимута за годинним кутом Сонця

Сутність способу визначення азимута за годинним кутом Сонця, як і за годинним кутом Полярної, полягає в тому, що безпосередньо вимірюється горизонтальний кут між центром Сонця і земним предметом з фіксацією моменту візування на Сонце за годинником, поправка якого відома заздалегідь. По моменту візування визначається годинний кут t і схилення δ Сонця. Якщо визначити тепер широту φ місця спостереження (за картою при визначенні азимута з точністю $30''$ і грубіше або з астрономічних спостережень при більш точному визначенні), то із розв'язання паралактичного трикутника за елементами $90^\circ - \delta$, $90^\circ - \varphi$ і t можна визначити азимут a Сонця на момент його спостереження за формулою (20)

$$ctga = \sin \varphi ctgt - \frac{\cos \varphi tg \delta}{\sin t}.$$

Знаючи азимут a і горизонтальний кут Q між Сонцем і земним предметом, обчислюють азимут A напрямку на цей предмет.

Визначення азимута за годинним кутом Сонця в порівнянні з визначенням його за Полярною пов'язане з деякими особливостями польових і обчислювальних робіт.

Розглянемо ці особливості.

Як зазначалося раніше, найкращим часом спостереження Сонця при визначенні азимута за годинним кутом є ранкові й вечірні години, коли висота Сонця знаходиться в межах $10\text{--}20^\circ$ і в будь-якому випадку не перевищує 50° , тому що в цей період помилки визначення годинного кута Сонця і широти місця спостереження не викличуть великих спотворень у значенні азимута світила.

Для отримання азимута якомога більшою точністю вертикальну нитку сітки при спостереженні наводять не на центр видимого диска Сонця, а на лівий (правий) його край при КЛ і на правий (лівий) при КП. За такою методикою середнє з відліків у прийомі за горизонтальним кругом і годинниками буде відповідати візуванню на центр Сонця. Виходячи з цього, а також враховуючи, що при граничній висоті Сонця ($h = 50^\circ$) помилка нахилу вертикальної осі теодоліта може викликати відчутну помилку в азимуті, спостереження при визначенні азимута за годинним кутом Сонця доцільно проводити в такій послідовності.

Круг ліво

1. Наближене наведення на місцевий предмет (марку) і встановлення на горизонтальному крузі початкового відліку.

2. Наближене встановлення візирної осі труби теодоліта у вертикалі Сонця і приведення бульбашки рівня при алідаді горизонтального круга на середину.

3. Наведення на марку і відлік по горизонтальному кругу (табл. 21)

4. Точне наведення вертикальної нитки сітки на лівий (правий) край видимого диска Сонця, відлік по годиннику і горизонтальному кругу.

Круг право

5. Наближене встановлення труби теодоліта у вертикалі Сонця і приведення бульбашки рівня при алідаді горизонтального круга на середину.

Таблиця 21

Приклад ведення журналу при визначенні азимута за годинним кутом Сонця

Дата 4 жовтня 2022 р.

Прийом I

Широта $\varphi = 56^{\circ}28'33''$

Теодоліт Т2 № 3456

Довгота $\lambda = 31 12 44$

Визначення поправки годинника

о 17^h 4 жовтня $T_1 = 16^h58^m21^s,4$ $u_1 = + 1^m38^s,6$

о 19^h 4 жовтня $T_2 = 18^h58^m21^s,2$ $u_2 = + 1^m38^s,8$

$$\text{Годинний хід годинника } \omega = \frac{u_1 - u_2}{T_2 - T_1} = +0^s,1$$

Назва напрямку	Круг	Відлік по штрихах лімба	Відліки по мікрометру		$\frac{a_1 + a_2}{2} \mu$	Л – П (2 с)	Позначення	Значення напрямків
			a_1	a_2				
ОРП -1	Л	0' 00	10,4	09,8	10,1			
	П	180 00	07,0	07,2	07,1	+3,0	М =	0° 00' 08",6
Сонце	Л	100 43	33,0	33,6	33,3		С =	100 41 32,4
	П	280 39	31,0	31,8	31,4		Q =	259° 18' 36"
Годинники	Л	17 ^h 34 ^m	18 ^s					
	П	17 36	56					
T'	=	17 ^h 35 ^m	37 ^s ,0					
u	=	+ 1	38,7					
T	=	17 ^h 37 ^m	15 ^s ,7					

6. Точне наведення вертикальної нитки сітки на правий (лівий) край видимого диска Сонця, відлік за годинником і горизонтальним кругом.

7. Наведення на марку і відлік по горизонтальному кругу.

Ці дії складають один прийом спостережень. Необхідна кількість прийомів, що залежить від точності шуканого азимута й точності застосовуваного теодоліта.

При визначенні азимута за Полярною її годинний кут на момент спостереження, як відомо, обчислюється за формулою $t = s - a$. Годинний кут Сонця можна обчислити простіше, оминаючи обчислення місцевого зоряного часу s . Розглянемо шлях, що застосовується при визначенні азимута за годинним кутом Сонця.

Згідно з рівністю (3.2), рівняння часу матиме вигляд

$$\eta = t_{\odot} - t_m,$$

звідки

$$t_{\odot} = \eta + t_m.$$

У гринвіцьку північ годинний кут середнього Сонця $t_m = 12^{\text{h}}$, тому годинний кут t_o істинного Сонця на 0^{h} всесвітнього часу визначається з рівності

$$t_o = \eta + 12^{\text{h}}.$$

Величина $\eta + 12^{\text{h}}$ наводиться в таблиці «Сонце» Астрономічного щорічника або Каталогу координат Сонця і яскравих зірок у графі «Рівняння часу + 12^{h} » (див. табл. 6).

Отже, значення годинного кута істинного Сонця у гринвіцьку північ може бути вибрано безпосередньо з таблиць по аргументу «дата спостереження».

Якщо спостереження здійснені в T_o годин всесвітнього часу, то для спостерігача, який знаходиться на меридіані з довготою λ , годинний кут Сонця t_{\odot} на цей момент визначається із рівняння

$$t_{\odot} = t_o + T_o + \Delta t + \lambda, \quad (7.23)$$

де $\Delta t = v T_o$ – поправка на годинні зміни рівняння часу, при цьому v – годинні зміни цього рівняння, які вибираються з таблиці «Сонце».

Приклад обчислення азимута за годинним кутом Сонця наведений у табл. 22.

Таблиця 22

Приклад обчислення астрономічного азимута за годинним кутом Сонця з точністю $\pm 15''$

Дата 6 жовтня 2022 р. Напрямок Ярок, *nir.* – ОПП-1
 Широта $\varphi = 56^{\circ}28'33''$
 Час київський Довгота $\lambda = 31\ 12\ 44 = 2^{\text{h}}04^{\text{m}}51^{\text{s}}$
 Довгота геодезич. $L = 31\ 12\ 51$

№ дій	Позначення	Прийоми			
		I	II	III	IV
Обчислення годинного кута Сонця					
1	T	$17^{\text{h}}37^{\text{m}}15^{\text{s}},7$	$17^{\text{h}}45^{\text{m}}28^{\text{s}},5$	$17^{\text{h}}57^{\text{m}}08^{\text{s}},4$	$18^{\text{h}}05^{\text{m}}32^{\text{s}},8$
4	$-(N+1)$	-3	-3	-3	-3
5	T_o	$14^{\text{h}}37^{\text{m}}15^{\text{s}},7$	$14^{\text{h}}45^{\text{m}}28^{\text{s}},5$	$14^{\text{h}}57^{\text{m}}08^{\text{s}},4$	$15^{\text{h}}05^{\text{m}}32^{\text{s}},8$
7	Δt	+ 3,1	+ 3,1	+ 3,1	+ 3,1
6	t_o	11 53 54,6	11 53 54,6	11 53 54,6	11 53 54,6
3	λ	2 04 51	2 04 51	2 04 51	2 04 51
8	t	$4^{\text{h}}36^{\text{m}}04^{\text{s}},4$	$4^{\text{h}}44^{\text{m}}17^{\text{s}},2$	$4^{\text{h}}55^{\text{m}}57^{\text{s}},1$	$5^{\text{h}}04^{\text{m}}21^{\text{s}},6$
9	t°	$69^{\circ} 01' 06''$	$71^{\circ} 04' 18''$	$73^{\circ} 59' 16''$	$76^{\circ} 05' 24''$
Обчислення схилення Сонця					
10	δ_o	$+17^{\circ} 25' 58''$	$+17^{\circ} 25' 58''$	$+17^{\circ} 25' 58''$	$+17^{\circ} 25' 58''$
11	vT_o	- 9 39	- 9 44	- 9 52	- 9 58
12	δ	$+17^{\circ} 16' 19''$	$+17^{\circ} 16' 14''$	$+17^{\circ} 16' 06''$	$+17^{\circ} 16' 00''$
Обчислення азимута Сонця					
13	$\sin \varphi$	0,852420	0,852420	0,852420	0,852420
15	$\text{ctg } t$	0,383497	0,342929	0,286976	0,247660
18	$\sin \varphi \text{ ctg } t$	0,326901	0,292320	0,244624	0,211110
14	$\cos \varphi$	0,522858	0,522858	0,522858	0,522858
17	$\text{tg } \delta$	0,310929	0,310902	0,310859	0,310827
19	$\cos \varphi \text{ tg } \delta$	0,162572	0,162558	0,162535	0,162518
16	$\sin t$	0,933695	0,945925	0,961203	0,970675
20	$\cos \varphi \text{ tg } \delta: \sin t$	0,174117	0,171851	0,169095	0,167428
21	$\text{ctg } a$	+0,152784	+0,120469	+0,075529	+0,043682
22	a	$81^{\circ} 18' 48''$	$83^{\circ} 07' 51''$	$85^{\circ} 40' 51''$	$87^{\circ} 29' 56''$
Обчислення астрономічного азимута					
23	a	$261^{\circ} 18' 48''$	$263^{\circ} 07' 51''$	$265^{\circ} 40' 51''$	$267^{\circ} 29' 56''$
2	Q	259 18 36	257 29 49	254 56 29	253 07 20
24	A	$160^{\circ} 37' 24''$	$160^{\circ} 37' 40''$	$160^{\circ} 37' 20''$	$160^{\circ} 37' 16''$
25	$A_{\text{сер}}$				
Обчислення геодезичного азимута					
26	$(L - \lambda) \sin \varphi$		+ 6''		
27	A_G		160 37 31		
Обчислення дирекційного кута					
28	$-\gamma$		+ 1' 31' 26''		
29	δ		0		
30	α		$162^{\circ} 08' 57''$		

ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ

1. Астрономічним азимутом називається...

- A) кут, створений площиною астрономічного меридіана і вертикальною в точці площиною, що проходить через цей напрямок;
- B) кут, створений площиною магнітного меридіана і вертикальною в точці площиною, що проходить через цей напрямок;
- C) кут, створений площиною геодезичного меридіана і похилою в точці площиною, що проходить через цей напрямок;
- D) кут, створений площиною астрономічного меридіана і непертикальною в точці площиною, що проходить через цей напрямок.

2. Площина астрономічного меридіана проходить через...

- A) нормаль точки паралельно осі обертання Землі;
- B) вискову лінію даної точки паралельно осі обертання Землі;
- C) вискову лінію точки перпендикулярно осі обертання Землі;
- D) нормаль точки перпендикулярно до площини екватора Землі.

3. Положення астрономічного меридіана будь-якої точки поверхні Землі визначається за результатами...

- A) математичних обчислень;
- B) спостережень небесних світил;
- C) наукових досліджень і спостережень;
- D) математичної обробки геодезичних вимірів.

4. У геодезії безпосереднє практичне застосування більшою мірою має... азимут.

- A) астрономічний; B) геодезичний; C) істинний;
- D) географічний.

5. Кут, складений площиною геодезичного меридіана точки даного напрямку і нормальною в цій точці площиною, що проходить через зазначений напрямок називається...

- A) геодезичний азимут; B) астрономічний азимут;
C) географічний азимут; D) істинний азимут.

6. Значення астрономічного і геодезичного азимутів одного напрямку, як правило,...

- A) неоднакові; B) однакові; C) приблизні;
D) взаємозалежні.

7. Азимут, визначений із середньою квадратичною похибкою більшою ніж ..., поправкою за ухилення вискової лінії звичайно не виправляється.

- A) 5"; B) 10"; C) 15"; D) 20".

8. Астрономічні азимуті, що визначаються з високою точністю..., використовуються для орієнтування ДГМ.

- A) 0.1 - 1"; B) 0.5 - 1"; C) 0.5 - 1.5"; D) 1 - 1.5".

9. В окремих випадках астрономічні азимуті визначають для...

- A) контролю кутових вимірювань;
B) перевірки значень кутових і лінійних вимірювань;
C) обчислення додаткових значень;
D) перевірки якості підготовки фахівців та їх знань.

10. Азимут напрямку, що визначається астрономічним шляхом, є сумою... кутів.

- A) двох; B) трьох; C) чотирьох; D) п'яти.

11. Горизонтальний кут Q , створений...

- A) напрямками на земний предмет і небесне світило, вимірюється на пункті світловіддалеміром;
B) напрямками на земний предмет і небесне світило, вимірюється на пункті безпосередньо кутомірним приладом;
C) напрямками на земний предмет і штучний супутник Землі, вимірюється на пункті безпосередньо радіовіддалемірним приладом;

D) напрямками на штучний супутник Землі і небесне світило, вимірюється на пункті безпосередньо кутомірним приладом.

12. Кут α , що є азимутом небесного світила, не може бути вимірний безпосередньо, тому що...

A) напрямок астрономічного меридіана на місцевості відмічений;

B) напрямок астрономічного меридіана на місцевості не відмічений;

C) напрямок геодезичного меридіана на місцевості не відмічений;

D) напрямок геодезичного меридіана на місцевості відмічений.

13. Кут α можна обчислити, попередньо вимірявши...

A) висоту світила (кут нахилу) і середній момент часу вимірювання горизонтального кута Q ;

B) відстань до земного предмету і середній момент часу вимірювання горизонтального кута Q ;

C) висоту світила та його зоряну величину;

D) зенітну відстань, схилення і висоту світила (кут нахилу).

14. Сутність визначення астрономічного азимута A напрямку на земний предмет полягає у...

A) визначенні астрономічного азимута якого-небудь світила на визначений момент часу t у вимірюванні в цей же момент горизонтального кута Q , складеного напрямками на світило і земний предмет;

B) визначенні астрономічного азимута якого-небудь світила на невизначений момент часу t у вимірюванні в цей же момент горизонтального кута Q , складеного напрямками на світило і земний предмет;

C) визначенні астрономічного азимута якого-небудь світила t у вимірюванні горизонтального кута Q , складеного напрямками на світило і неземний предмет;

D) визначенні істинного азимута якого-небудь світила на визначений момент часу й у вимірюванні в цей же момент горизонтального кута Q , складеного напрямками на світило і космічний предмет;

15. Небо постає перед спостерегачем у вигляді...

A) кулі, що обертається зі сходу через південь на захід, на внутрішній поверхні якої ніби розташовані небесні світила;

B) півкулі, що обертається зі сходу через південь на захід, на внутрішній поверхні якої ніби розташовані небесні світила;

C) півкулі, що обертається з заходу через південь на схід, на внутрішній поверхні якої ніби розташовані небесні світила;

D) півкулі, що обертається зі сходу через південь на захід, на зовнішній поверхні якої ніби розташовані небесні світила.

16. В астрономії використовується таке поняття як «небесна сфера», тому що воно...

A) спрощує опис небесних явищ;

B) зручне для математичних розрахунків;

C) спрощує опис небесних явищ і зручне для математичних розрахунків;

D) є правильним науковим поняттям.

17. Небесною сферою називається ...

A) сферична поверхня, описана радіусом довільної довжини з центром у довільній точці простору, на якій ніби розташовані спостережувані світила;

B) поверхня, описана радіусом заданої довжини з центром в певній точці простору, на якій ніби розташовані спостережувані світила;

C) напівсферична поверхня, описана радіусом довільної довжини із центром в точці простору, на якій не розташовані спостережувані світила;

D) сферична поверхня, описана радіусом довільної довжини із центром у довільній точці простору, на якій ніби розташовані спостережувані земні предмети.

18. На скільки груп поділяються основні допоміжні точки і лінії небесної сфери?

A) 2; B) 3; C) 4; D) 5.

19. До першої групи основних допоміжних точок і ліній небесної сфери належать елементи, які пов'язані з...

- A) добовим обертанням Землі;
- B) пунктом спостереження;
- C) видимим рухом Сонця;
- D) річним обертанням Землі навколо Сонця.

20. До другої групи основних допоміжних точок і ліній небесної сфери належать елементи, які пов'язані з...

- A) добовим обертанням Землі;
- B) пунктом спостереження;
- C) видимим рухом Сонця;
- D) з віссю світу.

21. Уявна пряма PP_1 , паралельна осі обертання Землі, навколо якої проходить видиме добове обертання небесної сфери, називається...

- A) північним полюсом світу; B) південним полюсом світу;
- C) віссю світу; D) істинним азимутом.

22. Площиною небесного екватора називають...

- A) площину, яка перпендикулярна до осі світу і проходить через центр небесної сфери;
- B) переріз небесної сфери площиною, яка проходить через ось світу і яку-небудь точку;
- C) площину, яка перпендикулярна до осі світу й проходить через точку спостереження;
- D) площину, яка перпендикулярна до осі світу й проходить через земний предмет.

23. Вискова лінія, що проходить через точку спостереження, перетинає сферу в двох точках: в точці зеніту і в точці надиру. При цьому ці точки...

- A) діаметрально протилежні; B) наближені;
- C) симетричні; D) асиметричні.

24. По лінії, що з'єднує точки сходу В і заходу З, перетинаються площини...

- A) горизонту і екватору; B) екватору і першого вертикалу;
- C) горизонту, екватору і першого вертикалу;
- D) екватору, першого і другого вертикалу.

25. Шлях видимого річного руху Сонця по небесній сфері створює коло, яке називається...

- A) екліптикою; B) площиною екліптики;
- C) небесним екватором; D) площиною горизонту.

26. Площина екліптики нахилена до площини екватора на кут...

- A) $20^{\circ}20'$; B) $23^{\circ}27'$; C) $25^{\circ}37'$; D) $27^{\circ}23'$.

27. В астрономії користуються системами координат...

- A) горизонтною, першою екваторіальною і другою екваторіальною;
- B) першою екваторіальною і другою екваторіальною;
- C) горизонтною, вертикальною, першою екваторіальною;
- D) горизонтальною, першою екваторіальною і другою екваторіальною.

28. В горизонтній системі за осі координат прийняті круги, зв'язані з точкою спостереження на земній поверхні:

- A) небесний екватор та істинний меридіан точки спостереження;
- B) круги схилення точок весняного й осіннього рівнодення;
- C) небесний горизонт та істинний меридіан точки спостереження;
- D) небесний екватор і круг схилення точки весняного рівнодення.

29. Положення світила на небесній сфері відносно прийнятих кругів визначається горизонтними координатами...

- A) висотою і азимутом; B) схиленням і висотою;
- C) азимутом і зенітною відстанню; D) кутом нахилу і відстанню.

30. Небесне світило називається незахідним, якщо добова паралель світила...

- A) знаходиться вище горизонту;
- B) знаходиться нижче горизонту;
- C) знаходиться на рівні горизонту;
- D) не знаходиться на рівні горизонту.

31. У першій системі екваторіальних координат за одну з координатних осей приймається та сама лінія, що і в системі горизонтних координат. Це...

- A) небесний екватор; B) небесний горизонт;
- C) астрономічний (істинний) меридіан точки спостереження; D) годинний кут.

32. Положення світила на небесній сфері в першій системі екваторіальних координат визначається...

- A) висотою і азимутом; B) схиленням і годинним кутом;
- C) азимутом і годинним кутом; D) схиленням і висотою.

33. Годинний кут прийнято виражати в...

- A) градусній мірі; B) годинній мірі;
- C) радіанах; D) усі відповіді правильні.

34. Прямим сходженням α світила називається...

- A) дуга небесного екватора від точки весняного рівнодення γ до круга схилення даного світила;
- B) дуга небесного екватора від точки осіннього рівнодення γ до круга схилення даного світила;
- C) лінія небесного горизонту від точки весняного рівнодення γ до круга схилення даного світила;
- D) лінія небесного горизонту від точки осіннього рівнодення γ до круга схилення будь-якого світила.

35. Вершинами паралактичного трикутника є...

- A) полюс світу, зеніт спостерігача і спостережуване світило;
- B) полюс і вісь світу, спостережуване світило;
- C) вісь світу, зеніт спостерігача і спостережуване світило;
- D) полюс світу, зеніт спостерігача і земний предмет.

36. Шляхом розв'язання паралактичного трикутника можна визначити...

- A) значення будь-якої координати світила або астрономічну широту точки спостереження, якщо відомі значення трьох інших елементів цього трикутника;
- B) значення будь-якого елемента даного трикутника;
- C) паралактичний кут і географічну широту точки спостереження;
- D) значення всіх координат світила.

37. Переріз небесної сфери площиною, що проходить через ось світу і будь-яку точку, наприклад через світило, називається...

- A) сферою схилення цієї точки; B) схиленням цієї точки;
- C) колом схилення цієї точки; D) висотою цієї точки.

38. Площина великого кола, перпендикулярна висковій лінії, має назву площини...

- A) зоряного (небесного) горизонту;
- B) небесного (істинного) горизонту;
- C) астрономічного (істинного) горизонту;
- D) геодезичного (істинного) горизонту.

39. Верхню точку екліптики, найбільш віддалену від екватора, називають точкою...

- A) літнього сонцестояння; B) зимового сонцестояння;
- C) весняного рівнодення; D) осіннього рівнодення.

40. Нижню точку екліптики, найбільш віддалену від екватора, називають точкою...

- A) літнього сонцестояння; B) зимового сонцестояння;
- C) весняного рівнодення; D) осіннього рівнодення.

41. Найбільш простою астрономічною одиницею часу є...

- A) зоряна доба; B) зоряна година; C) зоряний рік;
- D) зоряна секунда.

42. Протягом доби кожна зірка, яка описує при своєму видимому русі добову паралель на небесній сфері, перетинає меридіан спостерігача...

A) один раз; B) двічі; C) тричі; D) жодного разу.

43. Початком зоряної доби вважається момент...

A) нижньої кульмінації точки весняного рівнодення;

B) верхньої кульмінації точки весняного рівнодення;

C) верхньої кульмінації точки осіннього рівнодення;

D) нижньої кульмінації точки осіннього рівнодення.

44. Моментом верхньої кульмінації називається ...

A) момент часу, в який світило перетинає меридіан у найближчій до зеніту точці;

B) момент часу, в який світило перетинає меридіан у найвіддаленішій до зеніту точці;

C) момент часу, в який світило перетинає меридіан у найближчій до полюсу світу точці;

D) момент часу, в який світило перетинає меридіан у найближчій до північного полюсу точці.

45. Для всіх точок місцевості, що розташовані на одному й тому ж меридіані, початок зоряної доби настає...

A) в один і той самий момент часу;

B) в різні моменти часу;

C) в залежності від впливу особливостей місцевості;

D) в залежності від дії магнітних полюсів Землі.

46. Істинна сонячна доба – це...

A) проміжок часу між моментами двох послідовних верхніх кульмінацій центра істинного Сонця;

B) проміжок часу між моментами двох послідовних нижніх кульмінацій центра істинного Сонця;

C) проміжок часу, відлік якого здійснюється від початку якої-небудь зоряної доби, виражений у зоряній добі, годинах, хвилинах і секундах;

D) проміжок часу між моментами трьох послідовних кульмінацій центра істинного Сонця.

47. Унаслідок обертання Землі навколо Сонця тривалість істинної сонячної і зоряної діб...

- A) однакова; B) неоднакова; C) взаємозалежна;
- D) протилежна.

48. Швидкість видимого руху Сонця по екліптиці...

- A) постійна; B) непостійна; C) змішана; D) непомітна.

49. Половину екліптики, що розташована вище небесного екватора, Сонце проходить з 21 березня до 23 вересня за... діб.

- A) 125; B) 147; C) 168; D) 186.

50. Непостійність тривалості істинної сонячної доби досягає... на рік.

- A) 30 секунд; B) 51 секунди; C) 1 хвилину;
- D) 1 хвилину 27 секунд.

51. Практично при вимірюванні часу по Сонцю користуються...

- A) середньою сонячною добою;
- B) істинною сонячною добою;
- C) астрономічною добою;
- D) середньою зоряною добою.

52. «Середнім Сонцем» називається...

- A) фіктивна точка, яка рухається не по екліптиці, а по небесному екватору з постійною швидкістю, що дорівнює середньої швидкості руху істинного Сонця;
- B) фіктивна точка, яка рухається по екліптиці, а по не небесному екватору з постійною швидкістю, що дорівнює середній швидкості руху істинного Сонця;
- C) точка, яка рухається по екліптиці і по небесному екватору з непостійною швидкістю, що дорівнює середній швидкості руху істинного Сонця;
- D) точка, яка рухається по небесному екватору з постійною швидкістю, що не дорівнює середній швидкості руху істинного Сонця.

53. Різниця між істинним і середнім сонячним часом називається...

- A) екліптикой; B) годинним кутом; C) рівнянням часу;
D) істинним зоряним часом.

54. Тропічний рік – це...

- A) проміжок часу між двома послідовними проходженнями середнього Сонця через точку весняного рівнодення γ ;
B) проміжок часу між двома послідовними проходженнями середнього або істинного Сонця через точку весняного рівнодення γ ;
C) проміжок часу між двома проходженнями істинного Сонця через точку весняного рівнодення γ ;
D) проміжок часу між двома послідовними проходженнями середнього або істинного Сонця через точку осіннього рівнодення γ .

55. Астрономічними спостереженнями встановлено, що протягом року Земля здійснює навколо своєї осі... оберт.

- A) 365,2242; B) 366,0024; C) 366,2422; D) 366,4224.

56. Крім зоряного і сонячного часу, в залежності від вибору початку відліку, розрізняють... час.

- A) місцевий, всесвітній;
B) поясний і декретний;
C) місцевий, поясний і декретний;
D) місцевий, всесвітній, поясний і декретний час.

57. Однаковий час, прийнятий в межах окремого поясу називається...

- A) поясним часом; B) годинним поясом;
C) місцевим часом; D) постійним часом.

58. Для користування поясним часом вся поверхня Землі поділена по довготі на... пояси, витягнуті вздовж меридіанів.

- A) 12; B) 18; C) 24; D) 32.

59. Ширина кожного годинного поясу вважається такою, що дорівнює...

A) 6^0 ; B) 10^0 ; C) 15^0 ; D) 18^0 .

60. Для більш повного використання світлого часу доби у багатьох країнах світу годинники переводять...

- A) вперед відносно поясного часу;
- B) вперед відносно часового поясу;
- C) назад відносно поясного часу;
- D) назад відносно часового поясу.

61. Місцевий час на середньому меридіані нульового поясу (в Гринвічі) прийнято називати...

- A) місцевим зоряним часом; B) всесвітнім часом;
- C) декретним часом; D) місцевим середнім часом.

62. Механізм хронометра і годинників складається із... головних частин.

A) двох; B) трьох; C) чотирьох; D) п'яти.

63. Балансир, як один з головних частин механізму хронометра і годинників, являє собою...

- A) таку частину, яка здійснює під впливом спіральної пружини (волоска) коливання однакової тривалості у протилежних напрямках;
- B) частину, яка здійснює під впливом спіральної пружини (волоска) коливання неоднакової тривалості в однакових напрямках;
- C) таку частину, що перетворює коливальні рухи в оборотний рух зубчатих коліс;
- D) частину у вигляді тонкої сталеві пружини, закрученої в спіраль, яка служить для подолання тертя у лічильнику.

64. За конструкцією хронометри бувають...

- A) столові і кишенькові; B) зоряні і середні;
- C) істинні і палубні; D) столові і палубні.

65. У залежності від розмірів хронометри поділяють на...

- A) ручні і кишенькові; B) зоряні і середні;
- C) столові і кишенькові; D) столові і палубні.

66. Повне заведення забезпечує... роботу годинників.

A) півдобову; B) добову; C) дводобову; D) двогадинну.

67. Яка з частин механізму годинників і хронометра виконує роль маятника під впливом пружистої сили сталевих пружини?

A) балансір; B) передаточний пристрій; C) двигун;
D) лічильник.

68. Порушення постійності руху годинників відбувається внаслідок...

A) коливань температури і тиску повітря;
B) зміни сил тертя;
C) зміни сили двигуна;
D) всі відповіді правильні.

69. Поправкою годинників *и* називається...

A) різниця між точним значенням часу і показаннями годинників в один той самий фізичний момент;
B) різниця між довільним значенням часу і показаннями годинників в один той самий момент;
C) різниця між точним значенням часу і показаннями годинників в один той самий середній момент;
D) різниця між неточним значенням часу і показаннями годинників в один той самий істинний момент.

70. Основна перевага годинників, полягає у...

A) рівномірності їх роботи, що встановлюється кількістю коливань часового ходу;
B) нерівномірності їх ходу, що встановлюється величиною коливань добового ходу;
C) рівномірності їх ходу, що встановлюється величиною коливань добового ходу;
D) рівномірності їх роботи, що встановлюється величиною коливань годинного ходу.

71. Неозброєним оком на небі можна бачити до... зірок.

A) 2500; B) 7000; C) 12750; D) 15000.

72. Картина зоряного неба безперервно змінюється внаслідок...

- A) добового обертання небесної сфери;
- B) річного руху Сонця;
- C) видимого добового обертання небесної сфери і видимого річного руху Сонця;
- D) обертання Землі навколо своєї осі.

73. Яскраві зірки сузір'їв позначаються...

- A) літерами грецького алфавіту;
- B) порядковими номерами;
- C) умовними знаками;
- D) не мають позначення.

74. Яка найяскравіша зірка північної півкулі неба?

- A) α (Вега) сузір'я Ліри;
- B) α (Сиріус) сузір'я Великого Пса;
- C) α (Полярна) сузір'я Малої Ведмедиці;
- D) β (Кассіопея) сузір'я Малої Ведмедиці.

75. Яку зоряну величину має Сонце?

- A) 0.14; B) 1.56; C) 12.7; D) 26.7.

76. Для зручності орієнтування на зоряному небі зірки умовно розподілені на групи, які називають ...

- A) планетами; B) кометами; C) астероїдами; D) сузір'ями.

77. Скільки супутників має Марс?

- A) 1; B) 2; C) 3; D) 4.

78. Сукупність малих, тведих частинок і газів, що обертаються навколо Сонця, називається...

- A) планетами; B) кометами; C) астероїдами; D) сузір'ями.

79. Самостійні тіла, розміщені поза межами сонячної системи називаються...

- A) планетами; B) зорями; C) астероїдами; D) сузір'ями.

80. Малі планети з неправильною формою називаються...

- A) метеорами; B) зорями; C) астероїдами; D) сузір'ями.

81. Найбільш розповсюджений спосіб визначення астрономічного азимута в геодезичних мережах спеціального призначення – ...

- A) за висотою Сонця;
- B) за висотами яскравих зірок;
- C) за годинним кутом Полярної і за годинним кутом Сонця;
- D) всі відповіді правильні.

82. Вибір відповідного способу визначення астрономічного азимута залежить від...

- A) заданої точності визначення азимута, наявності відповідної точності приладів вимірювання часу, широти місця спостереження і часу доби;
- B) наявності відповідної точності приладів вимірювання часу, широти місця спостереження і часу доби, Астрономічного щорічника або Каталога координат Сонця і яскравих зірок;
- C) заданої точності визначення азимута, наявності відповідної точності приладів вимірювання часу, Астрономічного щорічника або Каталога координат Сонця і яскравих зірок;
- D) заданої точності визначення азимута, широти місця спостереження і часу доби.

83. Після ретельного центрування і нівелювання труба теодоліта...

- A) фокусується по достатньо віддаленому предмету і на окуляри труби, і відлікового мікроскопа укріплюються спеціальні призми, які дозволяють наводити трубу і здійснювати відліки по кутомірних кругах при великих кутах нахилу;
- B) фокусується по недостатньо віддаленому предмету і на окуляри труби і відлікового мікроскопа укріплюються спеціальні призми, які дозволяють наводити трубу і здійснювати відліки по кутомірних кругах при невеликих кутах нахилу;
- C) фокусується по достатньо віддаленому предмету, на окуляри труби і відлікового мікроскопа укріплюються зви-

чайні призми, які дозволяють наводити трубу і здійснювати відліки по кутомірних кругах при різних кутах нахилу;
D) фокусується по не досить віддаленому предмету, на окуляр труби укріплюється призма, що дозволяє наводити трубу і здійснювати відліки по кутомірних кругах при великих кутах нахилу.

84. Кількість прийомів спостереження світила і місцевого предмета встановлюється в залежності від...

- A) необхідної точності визначення азимута і типу застосовуваного при цьому нівеліра;
- B) необхідної точності визначення азимута і типу застосовуваного при цьому теодоліта;
- C) широти місця спостереження і часу доби;
- D) часу доби і типу застосованого при цьому приладу.

85. При визначенні астрономічного азимута за допомогою кутомірних приладів Т1, ОТ-02, ОТ-02М з точністю $\pm 30''$ необхідною кількістю прийомів є...

- A) 6; B) 4; C) 3; D) 2.

86. При визначенні астрономічного азимута з точністю $\pm 60''$ за допомогою кутомірних приладів Т-30, Т-15, ТОМ необхідно виконати... прийоми.

- A) 3; B) 4; C) 6; D) 2.

87. Точність визначення астрономічного азимута залежить...

- A) від точності польових вимірювань і меридіана місця спостереження;
- B) від точності польових вимірювань і від положення світила відносно горизонту;
- C) не тільки від точності польових вимірювань, але і від положення світила відносно горизонту і меридіана місця спостереження;
- D) не тільки від точності польових вимірювань, але і від положення світила відносно небесного екватора.

88. Найкращі умови для визначення азимута по висоті світила будуть...

A) для зірок, що не заходять, – у момент, коли зірка знаходиться в елонгації; для світил, які не мають елонгації, оскільки в цей час годинний кут t світила дорівнює 3 або 24^h , а q має максимальне значення;

B) для зірок, що не заходять, – у момент, коли зірка знаходиться в елонгації; для світил, які не мають елонгації, в момент, коли світило проходить через другий вертикал, так як в цей час годинний кут t світила дорівнює 6 або 24^h ;

C) для зірок, що не заходять, – у момент, коли зірка знаходиться в елонгації; для світил, які не мають елонгації, в момент, коли світило проходить через перший вертикал, так як в цей час годинний кут t світила дорівнює 6 або 18^h , а q має максимальне значення;

D) для світил, які не мають елонгації, в момент, коли світило проходить через перший вертикал, бо в цей час годинний кут t світила дорівнює 6 або 18^h , а q має мінімальне значення.

89. Спосіб визначення азимута по висоті світила не рекомендується в пунктах з географічними широтами більше...

A) 27° ; B) 45° ; C) 60° ; D) 90° .

90. Слід мати на увазі, що помилка в азимуті може досягати великих значень, якщо спостерігати світило при висотах..., тому що в цих випадках важко встановити величину поправки за астрономічну рефракцію.

A) менших 10° ; B) рівних 20° ; C) більших 25° ; D) менших 60° .

91. Якщо виникає необхідність у визначенні азимута за годинним кутом Сонця, то найкращі умови для спостереження будуть...

A) при сході і заході Сонця;

B) при розташуванні Сонця в zenіті;

C) коли зірка знаходиться в елонгації;

D) коли світило проходить через перший вертикал.

92. Спосіб визначення азимута по висоті Сонця використовується для отримання орієнтирних напрямків з середньої квадратичною помилкою, що дорівнює... і більше.

A) $\pm 15''$; B) $\pm 20''$; C) $\pm 25''$; D) $\pm 30''$.

93. Для визначення величини схилення Сонця δ відмічається по годиннику момент наведення візирної осі труби теодоліта на Сонце, при цьому час достатньо знати з точністю...

A) 30-60 секунд; B) 1 хвилини; C) 1,5–2 хвилини;
D) 5 хвилин.

94. Які переваги способу визначення азимута по висоті Сонця перед способом визначення азимута по годинному куту світила?

A) високі вимоги до точності вимірювання часу;
B) невисокі вимоги до точності вимірювання часу;
C) використання даних Астрономічного щорічника або Каталога координат Сонця і яскравих зірок;
D) наявності відповідної широти місця спостереження.

95. Для виправлення виміряної висоти Сонця поправкою r за астрономічну рефракцію вимірюють температуру повітря з точністю до...

A) 2° ; B) 5° ; C) 10° ; D) 15° .

96. Кут між дотичною до кривої та істинним напрямком на світило називається...

A) поправкою на атмосферну рефракцію;
B) поправка на кут заломлення;
C) поправкою на астрономічну рефракцію;
D) поправкою виправленої висоти.

97. Спотворення проміню залежить від...

A) висоти світила над горизонтом і щільності шарів повітря;
B) зоряної величини світила і його розміщення над небесним екватором;
C) кількості і щільності шарів повітря;
D) густоти повітря і висоти над поверхнею Землі.

98. Для визначення величини поправки за астрономічну рефракцію необхідно мати значення таких величин:

- A) астрономічний тиск, температура повітря, зенітна відстань світила;
- B) температура повітря, висота світила над горизонтом, кількість шарів повітря;
- C) атмосферний тиск, швидкість вітру, вологість повітря, зенітна відстань;
- D) температура повітря, атмосферний тиск, зенітна відстань світила, табличні поправки.

99. Спосіб визначення азимута за висотами яскравих зірок є більш точним у порівнянні зі ...

- A) способом визначення азимута за висотою Сонця;
- B) способом визначення азимута за годинним кутом Полярної зірки;
- C) способом визначення азимута за годинним кутом Сонця;
- D) усі відповіді правильні.

100. При визначенні азимута з точністю $\pm 15''$ і точніше широта повинна визначатися..., тому що в цьому випадку карта не може забезпечити необхідної точності її отримання.

- A) з астрономічних спостережень;
- B) за геодезичними вимірами;
- C) за картою масштабу 1: 50 000 і крупніше;
- D) з математичних обчислень.

101. Близькість Полярної до північного полюсу світу і її повільне видиме переміщення протягом доби дозволяє визначати... з високою точністю.

- A) координати зірки; B) азимут цієї зірки;
- C) положення світла відносно горизонту;
- D) висоту цієї зірки над горизонтом.

102. Скільки видів визначення азимута по годинному куту Полярної ?

- A) 1; B) 2; C) 3; D) 4.

103. Розглядаючи види визначення азимута по годинному куту Полярної, виділяють ...

- A) з точністю $\pm 5-10''$ та з точністю $\pm 10-12''$;
- B) з точністю $\pm 10-20''$ та з точністю $\pm 10-15''$;
- C) з точністю $\pm 30-60''$ та з точністю $\pm 10-15''$;
- D) з точністю $\pm 45-60''$ та з точністю $\pm 10-20''$.

104. Спостереження Полярної може бути виконано в будь-який час доби, за винятком...

- A) 30-хвилинного періоду до і після заходу та сходу Сонця;
- B) 1 години до заходу і сходу Сонця;
- C) 15-хвилинного періоду до і після заходу та сходу Сонця;
- D) коли Сонце перебуває в зеніті.

105. Сутність способу визначення азимута по годинному куту Сонця полягає в тому, що...

- A) безпосередньо вимірюється вертикальний кут між центром Сонця і земним предметом з фіксацією моменту візування на Сонце по годиннику, поправка якого відома зазделегідь;
- B) безпосередньо вимірюється горизонтальний кут між центром Сонця і земним предметом без фіксації моменту візування на Сонце по годиннику;
- C) безпосередньо вимірюється горизонтальний кут між центром Сонця і земним предметом з фіксацією моменту візування на Сонце по годиннику, поправка якого відома зазделегідь;
- D) безпосередньо вимірюється горизонтальний кут між центром Сонця і певним небесним світилом із фіксацією моменту візування на світило по годиннику, поправка якого невідома зазделегідь.

106. Для переходу від астрономічного азимута до дирекційного кута необхідно спочатку...

- A) перейти від астрономічного азимута до геодезичного;
- B) перейти від геодезичного азимута до астрономічного;
- C) обчислити значення астрономічного азимута;

D) визначити зближення меридіанів в пункті, з якого визначається дирекційний кут.

107. Різниця геодезичного і астрономічного азимутів будь-якого напрямку в даній точці дорівнює...

A) різниці геодезичної і астрономічної широти цієї точки, помноженої на синус широти даної точки;

B) різниці геодезичної і астрономічної довгот цієї точки, помноженої на синус широти даної точки;

C) різниці геодезичної і астрономічної довгот цієї точки, помноженої на косинус довготи даної точки;

D) різниці геодезичної і астрономічної довгот цієї точки, помноженої на тангенс широти даної точки.

108. Перехід від астрономічного азимута до геодезичного здійснюється у тих випадках, коли поправка за ухилення вискової лінії ΔA становить... помилки визначення астрономічного азимута.

A) не більше $\frac{1}{3}$; B) не менше $\frac{2}{3}$; C) не більше $\frac{1}{6}$; D) не менше $\frac{1}{3}$.

109. Звичайно виправляють астрономічний азимут, визначений із середньою квадратичною помилкою менше $30''$,...

A) поправкою за відхилення вискової лінії;

B) поправкою за атмосферну рефракцію;

C) поправкою за кривизну зображення геодезичної лінії на площині в проекції Гаусса;

D) поправкою виправленої висоти.

110. Геодезичні координати можуть бути визначені...

A) за дрібномасштабною картою, якщо на неї попередньо нанести пункт спостереження за прямокутними координатами;

B) за великомасштабною картою, якщо на неї попередньо нанести пункт спостереження за прямокутними координатами;

C) за великомасштабною картою, якщо на неї попередньо нанести пункт спостереження за полярними координатами;

D) за середньомасштабною картою, якщо на неї попередньо нанести пункт спостереження за сферичними координатами;

111. Для переходу від геодезичного азимута A_g до дирекційного кута α необхідно знати...

A) зближення меридіанів γ в пункті спостереження і поправку за астрономічну рефракцію;

B) зближення меридіанів γ в пункті спостереження і поправку δ за приведення виміряного напрямку на площину в проекції Гаусса;

C) поправку δ за приведення виміряного напрямку на площину в проекції Гаусса і поправку за відхилення вискової лінії;

D) поправку за відхилення вискової лінії і зближення меридіанів γ в пункті спостереження.

112. Кут зближення меридіанів γ може бути визначений...

A) за геодезичними і плоскими прямокутними координатами, користуючись відповідними формулами;

B) за географічними і плоскими прямокутними координатами, користуючись відповідними формулами;

C) за полярними і плоскими прямокутними координатами, користуючись відповідними формулами;

D) за геодезичними і просторовими прямокутними координатами, користуючись відповідними формулами.

113. Першу в Україні астрономічну обсерваторію було засновано у 1821 р. адміралом А.С. Грейсом в місті...

A) Одеса; B) Харків; C) Миколаїв; D) Очаків.

114. Сукупність усіх відомих галактик називають...

A) Мегагалактикою; B) Гігагалактикою;

C) Метагалактикою; D) Мезагалактикою.

115. Скільки супутників має Нептун?

A) 1; B) 2; C) 3; D) 4.

116. Які планети належать до земної групи?

A) Меркурій, Венера, Марс; B) Юпітер, Венера, Марс ;
C) Меркурій, Юпітер, Марс; D) Сатурн, Венера, Марс.

117. Відомо понад ... астероїдів.

A) 2500; B) 7000; C) 1250; D) 1600.

118. Величезні скупчення газу й пилу у світловому просторі називаються...

A) планетами; B) кометами; C) астероїдами; D) туманностями.

119. В якому році був запущений перший штучний супутник Землі?

A) 1961; B) 1957; C) 1965; D) 1960.

120. Крім нашої Галактики, існують приблизно... інших Галактик.

A) 1100; B) 1000; C) 1250; D) 1600.

ГЛОСАРІЙ

Астрономія – наука про небесні тіла; вивчає рух, будову й розвиток небесних тіл і їх систем та застосовує встановлені нею закони для практичних потреб людства.

Астрометрія – розділ астрономії, що розробляє теоретичні методи, техніку вимірів на небесній сфері і способи математичної обробки. До астрометрії входять: служба часу, календар, визначення географічних координат пунктів на земній поверхні.

Сферична астрономія – розробляє математичні методи визначення видимих положень і руху небесних світил, а також системи відліку часу.

Практична астрономія – розробляє способи спостереження і методи їх обробки, теорію астрономічних приладів. Практична астрономія використовується в морській, супутниковій, авіаційній навігації і в геодезії.

Небесна механіка – наука про просторовий рух небесних тіл і їх систем під дією сил взаємного тяжіння або іншої фізичної сили природи. Обчислення видимих положень (ефемерид) і визначення орбіт небесних тіл складає основу цього розділу (теоретична астрономія).

Астрофізика – розділ астрономії, завдання якого полягає у вивченні фізичних станів і процесів, що відбуваються на поверхні і в надрах небесних тіл, їх хімічного складу, властивостей середовища між небесними тілами. До розділів астрофізики можна віднести:

а) *теоретичний* – займається поясненням фізичних процесів і явищ, що відбуваються на небесних тілах, на основі теоретичної фізики;

б) *практичний* – розробляє способи астрофізичних спостережень і їх обробки, займається теорією і практичним використанням астрофізичних інструментів.

Розвиток техніки приводить до виникнення нових розділів астрофізики. Наприклад, радіоастрономія досліджує небесні тіла через радіолокацію. До найновіших розділів належать: інфрачервона і рентгенівська астрономія, нейтронна астрономія тощо.

Зоряна астрономія. Дослідження руху й розподілу у просторі зірок, газопилових туманностей і зоряних систем, їх структури й еволюції, проблем стабільності. Найбільшим розділом є позагалактична астрономія, яка вивчає властивості і розподіл зоряних систем-галактик, які знаходяться за межами нашої зоряної системи.

Космологія – розробляє проблеми походження і еволюції небесних тіл та їх систем, зокрема проблему походження Сонячної системи. Займається проблемою зореутворення. Допомогає зрозуміти сучасні геофізичні й геологічні процеси, що проходять у надрах Землі.

Космологія – вивчення Всесвіту як єдиного цілого, виявлення геометричної структури Всесвіту, його еволюції та погодження всіх об'єктів, що заповнюють його.

Земля – тверде, майже кулеподібної форми тіло, оточене атмосферою. Середній радіус 6370 км, середня висота атмосфери над поверхнею Землі 3000 км. Обертається навколо осі, що проходить через її центр і навколо Сонця. Відстань від Землі до Сонця приблизно дорівнює 150 000 000 км, вважається одиницею вимірювання й називається астрономічною одиницею.

Місяць – тверде кулеподібне тіло, що обертається навколо Землі, натуральний супутник. Розміри в 4 рази менші за розміри Землі (1738 км). Відстань від Місяця до Землі 60 радіусів Землі. Зовнішній вигляд Місяця із Землі постійно змінюється внаслідок зміни взаємного розміщення Сонця і Місяця. Це явище називають фазами Місяця.

Планети. Навколо Сонця на різних відстанях обертається 8 твердих кулеподібних як Земля тіл, що називаються планетами. Планети, розміщені ближче, ніж Земля, до Сонця, називаються нижніми (*Меркурій 0.38 а.о., Венера 0.72 а.о.*). Решта планет розміщені далі від Землі й називаються верхніми (*Марс 1.52 а.о., Юпітер 5.2 а.о., Сатурн 9.5 а.о., Уран 19.2 а.о., Нептун 30.1 а.о., Плутон 40 а.о.*).

Супутники. Більшість планет мають по одному або кілька супутників: Марс – 2, Юпітер – 12, Сатурн – 9, Уран – 5, Нептун – 2, у Плутона поки не знайдено, у Меркурія і Венери супутників немає. Розміри супутників значно менші від розмірів відповідних планет.

Астероїди – малі планети неправильної форми. Орбіти астероїдів розміщуються переважно між орбітами Марса і Юпітера, деякі близько підходять до орбіти Венери, а рідше – до орбіти Сатурна. Діаметр найбільшого – Цербери – 770 км. Відомо понад 1600 астероїдів.

Комети. Навколо Сонця обертаються комети, які являють собою сукупність малих, твердих частинок і газів. Особливістю багатьох комет є «хвіст» – витягнуте утворення, що виходить від основної круглої частини «голови» комети. Маси і густини комет малі в порівнянні з планетами. Орбіти комет зображуються дуже витягнутими еліпсами.

Метеоритні тіла. Навколо Сонця по замкнених орбітах обертаються також невеликі тверді тіла – метеори. Вони утворюють у просторі цілі потоки й інколи при своєму русі так близько підходять до Землі, що падають на поверхню, а при проходженні через атмосферу метеоритне тіло сильно нагрівається і згорає. Утворюється явище «падаючої зірки». Деякі тіла досягають поверхні Землі й називаються метеоритами.

Сонце – самосвітнє тіло, яке посиляє у світовий простір велику кількість променевої енергії. Діаметр 1.4106 км, температура поверхні біля 60 000, у центрі досягає 15 млн град. У надрах Сонця відбуваються ядерні реакції внаслідок високої температури. Сонце обертається навколо осі, що проходить через центр і майже перпендикулярна до площини орбіти Землі (повний оберт за 25 діб). Напрямок збігається з напрямком обертання планет навколо Сонця.

Сонячна система. Сонце, планети та їх супутники, астероїди, комети й метеорні тіла утворюють єдину систему тіл, динамічно зв'язану силами притягання. Центральне тіло Сонце ($m_c = 1.981030 \text{ кг}$). Сумарна маса всіх тіл сонячної системи складає 0.0013 m_c . Більшість тіл сонячної системи розміщується приблизно в одній площині всередині кола радіусом 50 а.о.

Зорі – самосвітні тіла, подібні до Сонця, розміщені за межами сонячної системи. Найближча до Сонця зірка знаходиться на відстані більше 200 000 а.о. Тому ввели нову одиницю: «світловий рік» – відстань, на яку поширюється світло за один рік (1 св.р. = 63204 а.о. = 9.463109 км). Розміри зір різноманітні: в сотні разів більші й менші за діаметр Сонця. Поверхнева температура лежить в діапа-

зоні від 3000 до 300 000°. У надрах зір температура вимірюється десятками мільйонів градусів. У залежності від поверхневої температури зорі мають різний колір. Найбільш гарячі мають голубуватий колір, менш гарячі – білий, подібний до Сонця або жовтий і найменш гарячі – оранжевий або червоний. Відношення кількості енергії, яку випромінює зірка, до енергії, випромінюваної Сонцем, називається світністю. Світність зірок лежить у межах від 1/600000 до 1/400000.

Нестаціонарні зорі – зорі, в яких блиск, температура, діаметр змінюються з часом. Якщо ця зміна періодична, то зорі називають цефеїдами. Якщо відстань між двома зорями однакова з розмірами сонячної системи, то такі зорі утворюють пару або подвійну зірку. Якщо три і більше, то маємо кратну зірку. Більше половини всіх зір навколо Сонця подвійні або кратні.

Туманності – величезні скупчення газу й пилу у світловому просторі. Розміри різні, вимірюються тисячами і мільйонами а.о. Деякі туманності мають правильну сферичну форму – це планетарні туманності. Густина туманностей дуже мала: 10-23–10-24 г/см³.

Галактика – сукупність туманностей і зірок, до якої належить Сонце являє собою обмежену систему (150 млрд зір). Форма Галактики: від центра (сукупність зір сферичної форми) відходять дві гілки (зорі і туманності) спіральної форми, розміщені в одній площині, яка називається галактикою. Наближено вважають, що всі зорі, що входять до складу Галактики обертаються навколо його геометричного центра. Швидкість руху 250 км/с, здійснює повний оберт (галактичний рік) за 180–200 млн років.

Інші Галактики. Крім нашої Галактики, відомо приблизно 1010 галактик. Сукупність усіх відомих галактик називають Метагалактикою.

Астрономічний азимут – кут, створений площиною астрономічного меридіана і вертикальною в точці площиною, що проходить через цей напрямок.

Геодезичний азимут – кут, складений площиною геодезичного меридіана початкової точки даного напрямку і нормальною в цій точці площиною, що проходить через зазначений напрямок.

Небесна сфера – сферична поверхня, описана радіусом довільної довжини з центром у довільній точці простору, на якій ніби розташовані спостережувані світила.

Вісь світу – уявна пряма, паралельна осі обертання Землі, навколо якої проходить видиме добове обертання небесної сфери. Вісь світу перетинає небесну сферу в точках P і P_1 , які називаються відповідно північним і південним полюсами світу. Північний полюс світу знаходиться поблизу Полярної зірки.

Площина небесного екватора – площина, що перпендикулярна до осі світу і проходить через центр небесної сфери.

Коло схилення точки – переріз небесної сфери площиною, що проходить через ось світу і яку-небудь точку.

Площина небесного (істинного) горизонту – площина великого кола, перпендикулярна висковій лінії.

Площина астрономічного, або істинного, меридіана – площина, що проходить через вискову лінію і вісь світу.

Вертикальні площини – площини, що проходять через вискову лінію, а їх переріз небесної сфери називається вертикалами або кругами висот.

Перший вертикал – вертикал, площина якого перпендикулярна до площини небесного меридіана.

Екліптика – коло великого круга на небесній сфері утворене видимим річним рухом Сонця. Площина, в якій воно знаходиться, називається площиною екліптики.

Точки весняного й осіннього рівнодення – точки перетинання екліптики і небесного екватора.

Точки літнього і зимового сонцестояння – верхня і нижня точки екліптики, найбільш віддалені від екватора.

Система горизонтних координат. Положення світила на небесній сфері відносно прийнятих кругів визначається двома горизонтними координатами: висотою й азимутом.

Висота світила – дуга круга висот від небесного горизонту до цього світила.

Азимут світила – дуга небесного горизонту від точки півночі до вертикала даного світила.

Перша система екваторіальних координат. Положення світила на небесній сфері в цій системі визначається схиленням і годинним кутом.

Схилення світила – дуга круга схилення від небесного екватора до цього світила.

Годинний кут світила – кут небесного екватора від астрономічного меридіана до круга схилення світила.

Друга система екваторіальних координат – положення світила на небесній сфері в другій системі екваторіальних координат, визначається схиленням і прямим сходженням.

Сходження світила – дуга небесного екватора від точки весіннього рівнодення γ до круга схилення певного світила.

Паралактичний трикутник – сферичний трикутник, створений перерізами астрономічного меридіана точки

спостереження, круга схилення і круга висот (вертикал) будь-якого світила.

Зоряна доба – період одного видимого оберту небесної сфери навколо осі світу.

Істинна сонячна доба – проміжок часу між моментами двох послідовних нижніх кульмінацій центра істинного Сонця.

Середня сонячна доба – проміжок часу між двома послідовними нижніми кульмінаціями «середнього Сонця».

Тропічний рік – проміжок часу між двома послідовними проходженнями середнього або істинного Сонця через точку весняного рівнодення γ .

Місцевий зоряний (s), місцевий істинний (T_{\odot}) і місцевий середній (T_m) сонячний час – зоряний, істинний і середній сонячний час, початок відліку якого віднесено до меридіана місця спостереження.

Всесвітній час – місцевий час на середньому меридіані нульового поясу (в Гринвічі).

Поясний час – момент нижньої кульмінації «середнього Сонця» на середньому меридіані годинного поясу.

Декретний час – момент нижньої кульмінації «середнього Сонця» на середньому меридіані сусіднього до сходу годинного поясу.

Поправка годинника – різниця між точним значенням часу T і показаннями годинників T' в один той самий фізичний момент.

Зоряне небо – сукупність світил, видимих уночі на небосхилі.

Список літератури

1. Астрономічний енциклопедичний словник/ за ред. І.А. Клімушина та А.О. Корсунь. Львів : Львівський нац. ун-т ім. Ів. Франка, 2003. 548 с.
2. Белова Н.А. Курс сферической астрономії. Москва : Недра, 1971. 183 с.
3. Білокриницький С.М. Геодезична астрономія : навчальний посібник. Чернівці : Чернівецький національний університет ім. Ю. Федьковича, 2014. 96 с.
4. Головка М.В., Крячко І.П. Астрономія : навчальний посібник. Київ : ТОВ «КОНВІ ПРІНТ», 2018. 272 с.
5. Заблоцький Ф.Д., Савчук С.Г., Лук'яненко Ю.О. та ін. Сферична астрономія : навчальний посібник. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2019. 152 с.
6. Крячко І.П. Астрономічні бази даних для науки й освіти : методичний посібник. Київ : Наше небо, 2013. 60 с.
7. Літнарівич Р.М. Геодезична астрономія : навчальний посібник. Чернігів : ЧДІЕУ, 2000. 76 с.
8. Мицкевич В.И. Геодезическая астрономія. Новополоцк : ПГУ, 2014. 96 с.
9. Пособие по геодезическим, астрономическим и гравиметрическим работам : в 3-х ч. Ч.2. Москва : ВИ МО СССР, 1963. 359 с.
10. Пособие по геодезическим, астрономическим и гравиметрическим работам : в 3-х ч. Ч.3. Москва : ВИ МО СССР, 1968. 386 с.
11. Руководство по геодезическим работам, РГ-2. Москва : РИО ВТС, 1961. 458 с.
12. Руководство по астрономо-геодезическим работам : в 2-х ч. Ч. 2 : Астрономические и гравиметрические работы. Москва : РИО ВТС, 1982. 427 с.

13. Соловьѳев А.Ф., Тарасов П.Н., Тарасенко Ф.В. и др. Геодезия : в 2-х ч. Ч.1.; под ред. А. Ф. Соловьѳева. Москва : ВИ МО, 1966. 502 с.
14. Brumberg V.A., Kopeikin S.M. Relativistic Time Scales // Celestial Mechanics and Dynamical Astronomy. 1990. №48 (1). P. 23-44.
15. McCarthy D.D., Seidelmann K.P. Time : From Earth Rotation to Atomic Physics. 2 nd ed. Cambridge : Cambridge University Press, 2018. 400 p.
16. Robin M. Green, Spherical Astronomy, 1985, Cambridge University Press, ISBN 0-521-31779-7.
17. William M. Smart, edited by Robin M. Green? Textbook on Spherical Astronomy, 1977, Cambridge University Press, ISBN 0-521-29180-1.

Навчальне видання

БЛОКРИНИЦЬКИЙ СЕРГІЙ МИКОЛАЙОВИЧ

Геодезична астрономія

Навчальний посібник

Літературний редактор ***О. В. Колодій***

Комп'ютерний набір ***С. М. Білокриницький***

Технічний редактор
та дизайн обкладинки ***О. М. Кудрінська***

Підписано до друку 16.03.2023. Формат 60x84/16

Папір офсетний. Друк різкогрічний. Ум.-друк. арк. 11,4

Обл.-вид. арк. 12,2. Зам. Н-022.

Видавництво та друкарня Чернівецького національного університету
імені Юрія Федьковича

58002, м. Чернівці, вул. Коцюбинського, 2

e-mail: ruta@chnu.edu.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК №891 від 08.04.2002 р.