

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний педагогічний університет
імені Володимира Гнатюка

СЕРГІЙ МОХУН

АСТРОНОМІЯ.
Збірник задач

Навчальний посібник
для студентів фізико-математичних факультетів
педагогічних вузів

Пробне видання

ТЕРНОПІЛЬ – 2013

ББК _____
М _____

РЕЦЕНЗЕНТИ:

**Рекомендовано до друку науково-методичною радою
Тернопільського національного педагогічного університету
імені Володимира Гнатюка
(Протокол № __ від _____ 2013 р.)**

**Мохун С. «Астрономія. Збірник задач»: Навч. посібн. –
Тернопіль: ТНПУ, 2013. – 226 с.: іл.**

У посібнику містяться задачі з усіх розділів програми курсу астрономії для педагогічних вузів. Також приведено короткі викладки теоретичного матеріалу та приклади розв'язування основних типів астрономічних задач. В кінці посібника подано відповіді до задач та розміщено таблиці, в яких наведено астрономічні дані, необхідні для розв'язування задач.

Усі права захищено. Книгу в цілому чи будь-яку її частину не можна відтворювати без письмового дозволу власників прав.

© Мохун С.

ВСТУП.....	5
ОСНОВИ СФЕРИЧНОЇ ТА ПРАКТИЧНОЇ АСТРОНОМІЇ	6
§1. НЕБЕСНА СФЕРА. СИСТЕМИ НЕБЕСНИХ КООРДИНАТ. КУЛЬМІНАЦІЯ СВІТИЛ. Вигляд зоряного неба на різних географічних паралелях	6
§2. Видимий річний рух Сонця, зміна пір року і астрономічні ознаки теплових поясів	22
§3. СИСТЕМИ ВІДЛІКУ ЧАСУ ТА ЇХ ПЕРЕТВОРЕННЯ	28
§4. ПРАКТИЧНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ГЕОГРАФІЧНИХ І НЕБЕСНИХ ЕКВАТОРІАЛЬНИХ КООРДИНАТ. РЕФРАКЦІЯ	45
§5. ПЕРЕТВОРЕННЯ НЕБЕСНИХ КООРДИНАТ. Схід і захід світил	52
II. ОСНОВИ ТЕОРЕТИЧНОЇ АСТРОНОМІЇ І НЕБЕСНОЇ МЕХАНІКИ.....	63
§6. ЕМПІРИЧНІ ЗАКОНИ КЕПЛЕРА І КОНФІГУРАЦІЇ ПЛАНЕТ.....	63
§7. ВІДСТАНІ, РОЗМІРИ І ОБЕРТАННЯ ТІЛ СОНЯЧНОЇ СИСТЕМИ.....	79
§8. ЗАКОН ВСЕСВІТНЬОГО ТЯЖІННЯ І ЗАДАЧА ДВОХ ТІЛ	86
§9. ШТУЧНІ НЕБЕСНІ ТІЛА	99
§10. ПРИТЯГАННЯ І ТЯЖІННЯ	110
III. ТЕЛЕСКОПИ	115
§11. ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕЛЕСКОПІВ.....	115
IV. ОСНОВИ АСТРОФІЗИКИ І ЗОРЯНОЇ АСТРОНОМІЇ.....	123
§12. БЛИСК СВІТИЛ. РІЧНИЙ ПАРАЛАКС	123
§13. ФІЗИЧНА ПРИРОДА СОНЦЯ І ЗІР	131
§14. КРАТНІ І ЗМІННІ ЗОРІ	144
§15. Рух зір і галактик у просторі	151
ВІДПОВІДІ	166
ДОДАТОК 1. ГРЕЦЬКИЙ АЛФАВІТ. АСТРОНОМІЧНІ СИМВОЛИ. СПІВВІДНОШЕННЯ МІЖ АСТРОНОМІЧНИМИ ОДИНИЦЯМИ ДОВЖИНИ.....	191
ДОДАТОК 2. ПЕРЕВЕДЕННЯ ОДИНИЦЬ ЧАСУ В ГРАДУСНІ ОДИНИЦІ .	192
ДОДАТОК 3. ПЕРЕВЕДЕННЯ ГРАДУСНИХ ОДИНИЦЬ В ОДИНИЦІ ЧАСУ	193
ДОДАТОК 4. СЕРЕДНЯ РЕФРАКЦІЯ.....	194
ДОДАТОК 5. ЗОРЯНИЙ ЧАС НА ГРИНВІЧІ В СЕРЕДНІЙ ПОЛУДЕНЬ	195
ДОДАТОК 6. ПЕРЕВЕДЕННЯ ІНТЕРВАЛІВ ЧАСУ	196

ДОДАТОК 7. ДАНІ ПРО СОНЦЕ	197
ДОДАТОК 8. ТАБЛИЦЯ СХИЛЕННЯ СОНЦЯ ПРОТЯГОМ РОКУ	198
ДОДАТОК 9. КУТОВИЙ ДІАМЕТР СОНЦЯ ПРОТЯГОМ РОКУ	199
ДОДАТОК 10. ДАНІ ПРО ЗЕМЛЮ ТА МІСЯЦЬ	201
ДОДАТОК 11. ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛАНЕТНИХ ОРБІТ ТА ОБЕРНЕНІ ЗНАЧЕННЯ МАС ПЛАНЕТ	202
ДОДАТОК 12. ФІЗИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛАНЕТ	203
ДОДАТОК 13. ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СУПУТНИКІВ ПЛАНЕТ	204
ДОДАТОК 14. ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ НАЙБІЛЬШИХ АСТЕРОЇДІВ.....	206
ДОДАТОК 15. ПРЕЦЕСІЯ ЗА 100 РОКІВ.....	207
ДОДАТОК 16. РІЧНА ПРЕЦЕСІЯ ЗА ПРЯМИМ ПІДНЕСЕННЯМ.....	208
ДОДАТОК 17. РІЧНА ПРЕЦЕСІЯ ЗА СХИЛЕННЯМ	209
ДОДАТОК 18. ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СУЗІР'ІВ	210
ДОДАТОК 19. ВЛАСНІ НАЗВИ ЗІР	212
ДОДАТОК 20. 100 НАЙБЛИЖЧИХ ЗІР	219
ДОДАТОК 21. 100 НАЙЯСКРАВІШИХ ЗІР.....	221
ДОДАТОК 22. ТАБЛИЦЯ ДЕЯКИХ СПЕКТРАЛЬНИХ ЛІНІЙ	223
ДОДАТОК 23. СЕРЕДНІ ЗНАЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРИ, ПОКАЗНИКА КОЛЬОРУ ТА БОЛОМЕТРИЧНОЇ ПОПРАВКИ.....	224
ДОДАТОК 24. ГЕОГРАФІЧНІ КООРДИНАТИ ДЕЯКИХ ПУНКТІВ УКРАЇНИ	225
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	226

Вступ

Розв'язування задач допомагає засвоєнню курсу загальної астрономії, оскільки вказує конкретне призначення теоретичних основ даної науки.

В кожному розділі завдання розташовані від простих до порівняно складних. Завданням передують короткі теоретичні відомості, в яких наведено основні закони та формули, необхідні для розв'язування завдань даного розділу. Об'єм цих пояснень неоднаковий і залежить від повноти висвітлення тих же розділів в підручниках.

Завдання складені за науковими даними з таким розрахунком, щоб були представлені всі основні розділи курсу загальної астрономії, що вивчаються в педагогічних вузах. У багатьох завданнях пропонується знайти розв'язок, пов'язаний не з одним, а з кількома об'єктами або з одним явищем, що спостерігається в різних місцях земної поверхні. Це зроблено для того, щоб за його результатами можна було зробити узагальнюючі висновки. Однак розв'язування різних варіантів може бути виконане різними студентами.

Слід мати на увазі, що тісний взаємозв'язок майже всіх розділів астрономії не завжди дозволяє розподілити завдання по розділах, і тому деякі перестановки неминучі.

На відміну від процесу наукових досліджень, висока точність обчислень при вирішенні учбових завдань не є визначальною. Тому розв'язки завдань можуть бути отримані з різною точністю і залежно від цього результати можуть дещо відрізнятися від відповідей до завдань.

Основи сферичної та практичної астрономії

§1. Небесна сфера. Системи небесних координат. Кульмінація світил. Вигляд зоряного неба на різних географічних паралелях

Небесна сфера. Для визначення видимого положення небесних тіл і вивчення їх руху в астрономії вводиться поняття *небесної сфери*.

Сфера довільного радіусу з центром, поміщеним в довільній точці простору, називається *небесною сферою*.

Обертання небесної сфери повторює обертання небосхилу.

Пряма ZOZ' (рис. 1), що проходить через центр O небесної сфери і співпадає з напрямом лінії виска в місці спостереження, називається *вертикальною лінією*.

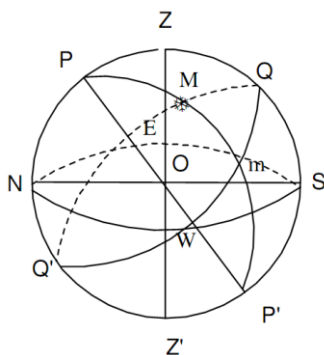


Рис. 1. Основні точки і лінії небесної сфери

Вертикальна лінія перетинає небесну сферу в точках *зеніту* Z і *надиру* Z' .

Велике коло небесної сфери $SWNE$ (рис. 1), площина якого перпендикулярна до вертикальної лінії, називається *математичним* або *справжнім горизонтом*.

Математичний горизонт ділить небесну сферу на дві половини: видиму і невидиму для спостерігача. Діаметр PP' , навколо якого відбувається обертання небесної сфери, називається *віссю світу*. Вісь світу перетинається з небесною сферою в *північному* P і *південному* P' *полюсах світу*. Велике коло небесної сфери $QWQ'E$, площина якого перпендикулярна до осі світу, називається *небесним екватором*. Небесний екватор ділить поверхню небесної сфери на дві півкулі – *північну* і *південну*.

Небесний екватор перетинається з математичним горизонтом в двох точках – *точці сходу E і точці заходу W*.

Велике коло небесної сфери $PZQSP'Z'Q'N$ (рис. 1), площина якого проходить через прямовисну лінію і вісь світу, називається *небесним меридіаном*. Небесний меридіан ділить поверхню небесної сфери на *східну і західну півкулі*.

Площина небесного меридіана і площина математичного горизонту перетинаються по прямій лінії NOS , яка називається *полуденною лінією*. Небесний меридіан перетинається з математичним горизонтом в двох точках – *точці півночі N і точці півдня S*.

Явище перетину світилом небесного меридіана називається *кульмінацією* світила. Якщо світило перетинає дугу меридіана PZP' – настає *верхня кульмінація*, якщо $P'Z'P$ – *нижня кульмінація*.

Дуга великого кола небесної сфери ZMZ' (рис. 2), що проходить через зеніт, світило M і надир, називається *колом висот* або *вертикалом* світила M .

Кола висот, що проходять через точки сходу і заходу, називаються *першими вертикалами* – *східним і західним*.

Мале коло небесної сфери, площина якого паралельна площині небесного екватора, називається *небесною* або *добовою паралеллю* світила. Видимі добові рухи світил здійснюються по добових паралелях.

Дуга великого кола небесної сфери PMP' , яка проходить через полюси світу і світило M , називається *годинним колом* або *колом схилення* світила.

Системи небесних координат. Положення світила на небі однозначно визначається по відношенню до основних площин і пов'язаних з ними ліній і точок небесної сфери і виражається кількісно двома величинами (центральною кутами або дугами великих кіл), які називаються *небесними координатами*.

Горизонтальна система. Основною площиною є площина математичного горизонту $NWSE$ (рис. 2), а відлік ведеться від зеніту і від однієї з точок математичного горизонту. Однією координатою є *зенітна відстань z* або *висота* світила над горизонтом h .

Висотою h світила M називається дуга кола висот mM від математичного горизонту до світила, або центральний кут mOM

між площиною математичного горизонту і напрямом на світило М. Висоти відраховують в межах від 0 до 90° до зеніту і від 0 до -90° до надира.

Зенітною відстанню світила називається дуга вертикального кола ZM від зеніту до світила

$$z + h = 90^\circ.$$

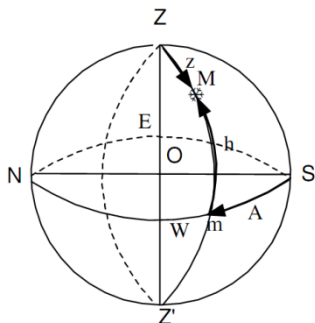


Рис. 2. Горизонтальна система небесних координат

Положення самого вертикального кола визначається іншою координатою – *азимутом А*. *Азимутом А* світила називається дуга математичного горизонту Sm від точки півдня S до вертикального кола, що проходить через світило. Азимути відраховують в бік добового обертання небесної сфери, тобто на захід від точки півдня, в межах від 0 до 360° .

Ця система координат використовується для безпосередніх визначень видимих положень світил за допомогою кутомірних інструментів.

Перша екваторіальна система координат. Основною площиною в цій системі є площина небесного екватора (рис. 3а).

Початок відліку – верхня точка небесного екватора Q. Однією координатою є *схилення*. *Схиленням δ* називається дуга mM годинного кола PMmP' від небесного екватора до світила. Відраховують схилення від 0 до $+90^\circ$ до північного полюса і від 0 до -90° до південного. Крім схилення можна використовувати полярну відстань p – дугу від північного полюса світу до світила

$$p + \delta = 90^\circ.$$

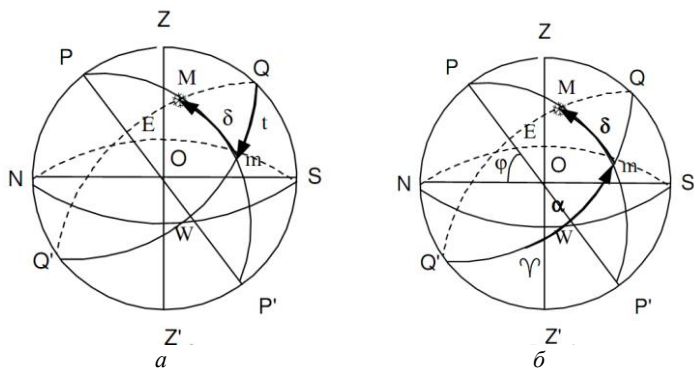


Рис. 3. Перша (а) та друга (б) екваторіальні системи небесних координат

Положення годинного кола визначається *годинним кутом* t .

Годинним кутом світила M називається дуга небесного екватора Qm від верхньої точки Q небесного екватора до годинного кола $PMmP'$, що проходить через світило.

Годинні кути відраховуються у бік добового обертання небесної сфери, на захід від Q , в межах від 0 до 360° або від 0 до 24 годин.

Для переведення градусних одиниць дуги в годинні або навпаки необхідно враховувати, що $24^h = 360^\circ$, $1^h = 15^\circ$, $1^{xb} = 15'$, $1^\circ = 15''$, $1^\circ = 4^{xb}$ або користуватися таблицями додатків 2 та 3.

Ця система координат використовується в практичній астрономії для визначення точного часу.

Друга екваторіальна система координат. Основною площиною цієї системи координат є площина небесного екватора (рис. 3б). Однією координатою є схилення δ , іншою – пряме сходження α .

Прямим сходженням α світила M називається дуга небесного екватора Ym від точки весняного рівнодення до годинного кола, що проходить через світило.

Відраховують α у бік, протилежний до добового обертання небесної сфери, в межах від 0 до 360° або від 0 до 24 годин.

Ця система використовується для визначення незмінних при добовому обертанні небесної сфери координат і складання каталогів небесних об'єктів.

Екліптична система координат. У деяких випадках, зокрема при обчисленні положень на небі Сонця, планет чи Місяця,

використовують систему координат, в якій за основну прийнято площину екліптики, а за основну точку відліку – точку весняного рівнодення (рис. 4). У цій системі використовують такі дві координати: *екліптичну довготу* λ і *екліптичну широту* β . Дві діаметрально протилежні точки небесної сфери, які з'єднує пряма, перпендикулярна до площини екліптики – це *полюси екліптики*. Велике коло небесної сфери, що проходить через обидва полюси екліптики і світило – *коло широти* світила.

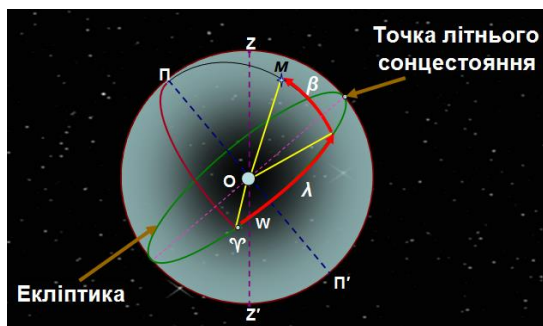


Рис. 4. Екліптична система небесних координат

Екліптична довгота λ світила M – це центральний кут між напрямом на точку весняного рівнодення і площиною кола широти світила, виміряний в площині екліптики. Екліптичну довготу λ відлічують від точки весняного рівнодення вздовж екліптики назустріч видимому добовому обертанню небесної сфери до кола широти світила. Вимірюють її у градусах.

Екліптичною широтою β світила M називається центральний кут між площиною екліптики і напрямом на світило, виміряний у площині кола широти світила. Екліптичну широту β відлічують від екліптики вздовж кола широти до світила. Вимірюють її у градусах, вона додатна до північного полюса екліптики.

У будь-якому місці земної поверхні висота h_p полюса світу завжди дорівнює географічній широті φ цього місця:

$$h_p = \varphi,$$

а площина небесного екватора і площини небесних паралелей нахилені до площини справжнього горизонту під кутом

$$i = 90^\circ - \varphi.$$

Висота h і зенітна відстань z будь-якої точки небесної сфери, у тому числі і будь-якого світила, пов'язані між собою залежністю

$$z + h = 90^\circ.$$

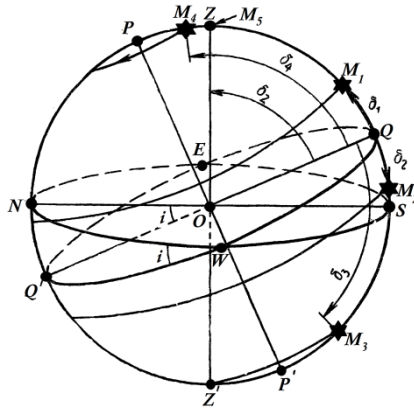


Рис. 5. Верхня кульмінація світил

У момент верхньої кульмінації (рис. 5) світило зі схиленням $\delta < \varphi$ (світила M_1 , M_2 і M_3) перетинає небесний меридіан на південь від зеніту Z (над або під точкою півдня S) і його зенітна відстань

$$z_B = \varphi - \delta,$$

а висота

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

азимут $A_B = 0^\circ$ і годинний кут $t_B = 0^\circ = 0^r$.

При $\delta > \varphi$ світило (M_4) у верхній кульмінації перетинає небесний меридіан на північ від зеніту (над точкою півночі N), між зенітом Z і північним полюсом світу P , і тоді зенітна відстань світила

$$z_B = \delta - \varphi,$$

а висота

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

азимут $A_B = 180^\circ$ і годинний кут $t_B = 0^\circ = 0^r$.

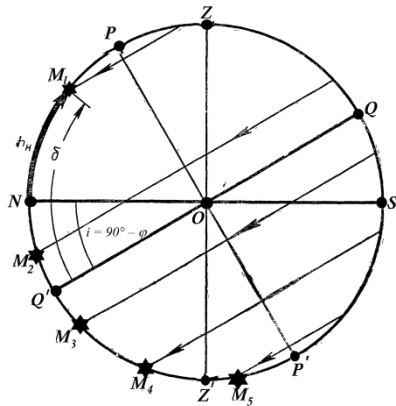


Рис. 6. Нижня кульмінація світил

У момент нижньої кульмінації (рис. 6) світило перетинає небесний меридіан під північним полюсом світу: світило (M_1), що не заходить, – над точкою півночі N , світило (M_2 і M_3), що заходить, і світило (M_4), що не сходить – під точкою півночі. У нижній кульмінації висота світила

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

його зенітна відстань

$$z_H = 180^\circ - \delta - \varphi,$$

азимут $A_H = 180^\circ$ і годинний кут $t_H = 180^\circ = 12^r$.



Рис. 7. Умови видимості світил над горизонтом

Залежно від широти місця спостереження φ , світила з $\delta < 0^\circ$ можуть в нижній кульмінації проходити під точкою півдня S (M_5) і тоді $A_H = 0^\circ$, а годинний кут $t_H = 180^\circ = 12^r$. В цьому випадку $z_H > 180^\circ$ або $h_H < -90^\circ$, чого бути не може, і, отже, реальна зенітна відстань $z = 360^\circ - z_H$, а висота $h = -(180^\circ + h_H)$, але завжди $z + h = 90^\circ$. Напрямок кульмінації відносно зеніту завжди вказується буквами: S (або пд.) – кульмінація на південь і N (або пн.) – кульмінація на північ від зеніту.

При

$$\delta \geq +(90^\circ - \varphi)$$

висота $h_H \geq 0^\circ$, тобто світило ніколи не заходить під горизонт (світило, що не заходить), а у світила, що не сходить (рис. 7) $h_B \leq 0^\circ$ і схилення

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

Приклади розв'язування задач

Приклад 1. Визначити зенітну відстань, висоту, азимут і годинний кут Капелли у верхній і нижній кульмінації на північному тропіку ($\varphi = +23^\circ 26'$), на географічній широті $\varphi = +45^\circ 58'$ і на північному полярному колі ($\varphi = +66^\circ 34'$). Схилення Капелли $\delta = +45^\circ 58'$.

Дано: Капелла, $\delta = +45^\circ 58'$; північний тропік, $\varphi = +23^\circ 26'$; $\varphi = +45^\circ 58'$; північне полярне коло, $\varphi = +66^\circ 34'$.

Розв'язок.

Схилення Капелли $\delta = +45^\circ 58' > \varphi$ північного тропіка, і тому:

$$z_B = \delta - \varphi = +45^\circ 58' - 23^\circ 26' = 22^\circ 32' \text{ N},$$

$$h_B = 90^\circ - z_B = 90^\circ - 22^\circ 32' = +67^\circ 28' \text{ N},$$

отже, азимут $A_B = 180^\circ$, а годинний кут $t_B = 0^\circ = 0^r$.

На географічній широті $\varphi = +45^\circ 58' = \delta$ зенітна відстань Капелли $z_B = \delta - \varphi = 0^\circ$, тобто у верхній кульмінації вона знаходиться в зеніті, і її висота $h_B = +90^\circ$, годинний кут $t_B = 0^\circ = 0^r$, а азимут A_B невизначений.

Ті ж величини для північного полярного кола (схилення $\delta < \varphi = +66^\circ 34'$):

$$z_B = \varphi - \delta = +66^\circ 34' - 45^\circ 58' = 20^\circ 36' \text{ S},$$

$$h_B = 90^\circ - z_B = +90^\circ - 20^\circ 36' = +69^\circ 24' \text{ S},$$

а тому $A_B = 0^\circ$ і $t_B = 0^\circ = 0^r$.

Висоти h_n і зенітні відстані z_n Капелли в нижній кульмінації знаходяться так:

на північному тропіку ($\varphi = +23^\circ 26'$):

$$h_n = \delta - (90^\circ - \varphi) = +45^\circ 58' - (90^\circ - 23^\circ 26') = -20^\circ 36' \text{ N},$$

тобто в нижній кульмінації Капелла заходить за горизонт, і її зенітна відстань

$$z_n = 90^\circ - h_n = 90^\circ - (-20^\circ 36') = 110^\circ 36' \text{ N},$$

азимут $A_n = 180^\circ$ і годинний кут $t_n = 180^\circ = 12^r$;

на географічній широті $\varphi = +45^\circ 58'$:

$$h_n = \delta - (90^\circ - \varphi) = +45^\circ 58' - (90^\circ - 45^\circ 58') = +1^\circ 56' \text{ N},$$

тобто вона не заходить, тоді:

$$z_n = 90^\circ - h_n = 90^\circ - 1^\circ 56' = 88^\circ 4' \text{ N},$$

азимут $A_n = 180^\circ$ і годинний кут $t_n = 180^\circ = 12^r$;

на північному полярному колі ($\varphi = +66^\circ 34'$):

$$h_n = \delta - (90^\circ - \varphi) = +45^\circ 58' - (90^\circ - 66^\circ 34') = +22^\circ 32' \text{ N},$$

$$z_n = 90^\circ - h_n = 90^\circ - 22^\circ 32' = 67^\circ 28' \text{ N},$$

тобто зірка не заходить за горизонт.

Приклад 2. Деяка зоря відстає від полюса світу на 48° . Чи завжди її можна бачити над горизонтом Тернополя ($+49^\circ 34'$)?

Дано: Тернопіль, $\varphi = +49^\circ 34'$, $p = 48^\circ$.

Розв'язок.

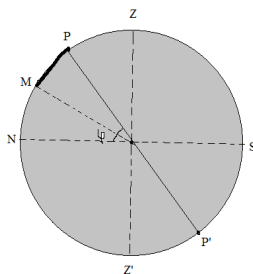
Умова, коли зірку завжди можна бачити над горизонтом:

$$h_n \geq 0 \text{ або } \delta \geq +(90^\circ - \varphi).$$

Виділена на рисунку дуга — це полярна відстань даної зірки. Зоря в точці М перебуває в нижній кульмінації, яку можна визначити так (див. рис.):

$$h_n = \varphi - p = 49^\circ 34' - 48^\circ = 1^\circ 34'.$$

Оскільки умова $h_n \geq 0$ виконується то дану зірку ми завжди будемо бачити над горизонтом Тернополя.



Приклад 3. На яких географічних паралелях Капелла ($\delta = +45^\circ 58'$) не заходить за горизонт, ніколи не сходить і в нижній кульмінації проходить через надир?

Дано: Капелла, $\delta = +45^{\circ}58'$.

Розв'язок.

За умовою $\delta \geq +(90^{\circ} - \varphi)$ – світило не заходить. Тому

$$\varphi \geq +(90^{\circ} - \delta) = +(90^{\circ} - 45^{\circ}58'),$$

звідки $\varphi \geq +44^{\circ}2'$, тобто на північ від географічної паралелі $\varphi = +44^{\circ}2'$ та аж до північного полюса Землі ($\varphi = +90^{\circ}$) Капелла є зіркою, що не заходить.

З умови симетрії небесної сфери знаходимо, що в південній півкулі Землі Капелла не сходить в місцевостях з географічною широтою від $\varphi = -44^{\circ}2'$ до південного географічного полюса ($\varphi = -90^{\circ}$).

Згідно формули $z_n = 180^{\circ} - \delta - \varphi$ нижня кульмінація Капелли в надирі, тобто при $z_n = 180^{\circ} = 180^{\circ} - \delta - \varphi$, відбувається в південній півкулі Землі, на географічній паралелі $\varphi = -\delta = -45^{\circ}58'$.

Задачі для самостійного розв'язування

1. На якій відстані від ока треба помістити монету діаметром 1,7 см, щоб вона закрила собою Сонце (кутовий діаметр Сонця прийняти $30'$)?
2. Діаметр сферичного аеростата дорівнює 13 м. На якій відстані він перебуває, якщо його кутовий діаметр удвічі менший місячного (кутовий діаметр Місяця прийняти $30'$)?
3. При спостереженні зірки помічають, що вона піднімається все вище і вище. У яку сторону небосхилу дивиться спостерігач?
4. Мисливець восени йде під ранок в лісі в напрямку Полярної зірки. Після сходу Сонця він повертається назад. Як він повинен йти назад, керуючись положенням Сонця?
5. Чи є на Землі таке місце, де людина із зав'язаними очима, рухаючись, неодмінно піде на північ?
6. Зобразити на кресленні небесну сферу в проекції на площини горизонту, екватора, меридіана та першого вертикала.
7. Широта деякого пункту $\varphi = 55^{\circ}45'$. Визначити кутову відстань від точки зеніту до полюса світу в цьому місці.

8. Під яким кутом небесний екватор перетинає горизонт (в точках сходу і заходу) для спостерігача, що знаходиться на широті 40° ? Які ці кути, якщо широта спостерігача буде 10° ? 20° ? 50° ? 70° ? -40° ?
9. Де висота світил над горизонтом протягом доби не змінюється?
10. Які важливі кола небесної сфери не мають відповідних кіл на Землі?
11. Як розташовується екліптика по відношенню до горизонту на Північному полюсі?
12. За яких умов полюс екліптики збігається з зенітом спостерігача?
13. В якому місці Землі екліптика може співпасти з горизонтом і коли це буває?
14. Які найбільший і найменший кути утворює екліптика з горизонтом в місцевості, широта якої $\varphi = 55^\circ 45'$?
15. Який кут утворює екліптика з горизонтом у момент заходу точки весняного рівнодення для спостерігача, який знаходиться на 18° географічної широти?
16. Який кут з горизонтом утворює екліптика в момент сходу точки весняного рівнодення для широти 55° ? У момент заходу цієї точки? Те ж для широти $+66,5^\circ$?
17. Визначити лінійну відстань між двома зірками, що знаходяться від нас на відстанях r_1 і r_2 і видимі на небі на кутовій відстані Θ .
18. У якій точці неба схилення дорівнює -90° , $+90^\circ$, 0° ?
19. Полярна зірка розташована від полюса світу на $44'9''$. Чому дорівнює її схилення?
20. Які азимути точок півночі, півдня, сходу і заходу?
21. Чому дорівнює схилення точки зеніту на географічній широті 42° ?
22. Які горизонтальні координати полюса світу в місцевості, географічна широта якої $+23^\circ 26'$?
23. Які годинний кут і азимут зеніту?
24. Чому дорівнює годинний кут точки заходу та сходу?
25. Чому дорівнює пряме сходження (α) і схилення (δ) точки весняного рівнодення?

26. Для якої точки небесної сфери і пряме сходження і схилення дорівнює нулю? Яка астрономічна широта і довгота цієї точки?
27. Яка астрономічна широта і довгота північного полюса світу?
28. Визначити пряме сходження і схилення північного полюса екліптики.
29. Яка довгота і широта північного полюса екліптики?
30. Прямі сходження зір $284^{\circ}15'17''$, $17^{\circ}57'1''$, $191^{\circ}13'59''$ виразити в годинах, хвилинах і секундах.
31. Прямі сходження зір $3^{\text{h}}17^{\text{m}}09^{\text{s}}$, $19^{\text{h}}2^{\text{m}}39^{\text{s}}$ і $21^{\text{h}}3^{\text{s}}$ записати в градусній мірі.
32. Азимут світила 45° , висота 60° . В якій частині небосхилу треба шукати це світило?
33. Годинний кут світила 18 год. У якій частині небесної сфери воно знаходиться?
34. За яких умов азимут будь-якої зірки дорівнює $270^{\circ} - \lambda$, де λ – астрономічна довгота цієї зірки?
35. Знайти геометричне місце точок сфери, для якої астрономічна довгота дорівнює прямому сходженню.
36. Знайти геометричне місце точок сфери, для яких астрономічна широта дорівнює схиленню.
37. Знайти ті точки сфери, для яких широта дорівнює схиленню і довгота дорівнює прямому сходженню.
38. Чому дорівнює азимут зірки в момент верхньої кульмінації для місця на широті φ ? Чи у всіх зір він однаковий?
39. При якому схиленні зірки її азимут в момент верхньої кульмінації дорівнює 0° і при якому він дорівнює 180° ?
40. Два пункти спостереження лежать на одному меридіані. Широта одного $+56^{\circ}$, а іншого $+9^{\circ}$. Яка різниця висот, на яких зірку Сиріус в момент верхньої кульмінації бачать спостерігачі в цих місцях?
41. Порівняти азимути і висоти одного і того ж світила в момент нижньої кульмінації для спостерігачів, що знаходяться на широтах φ і $\varphi + 30^{\circ}$.
42. Яка зенітна відстань Веги ($\delta = +38^{\circ}42'$) під час верхньої кульмінації на широті $\varphi = 55^{\circ}45'$?

43. На якій зенітній відстані проходить через верхню кульмінацію зірка Капела ($\delta = +45^{\circ}54'$) на широтах $\varphi = 59^{\circ}57'$ та $\varphi = 41^{\circ}20'$?
44. Полярна відстань зірки 15° . Чи завжди вона знаходиться над горизонтом спостерігача на широті $\varphi = 59^{\circ}57'$?
45. Чи може одна і та ж зірка проходити через небесний меридіан на широті $\varphi = 52^{\circ}16'$ і в точці півночі і в точці півдня? А в інших місцях Землі може бути таке явище?
46. Полярна відстань зірки дорівнює $20^{\circ}15'$. Яка її зенітна відстань в нижній кульмінації на широті $\varphi = 59^{\circ}13'$?
47. Полярна відстань зорі 48° . Чи завжди її можна бачити на широтах $\varphi = 46^{\circ}29'$, $\varphi = 55^{\circ}45'$, $\varphi = 50^{\circ}27'$ і $\varphi = 41^{\circ}43'$?
48. Чи сходить на широті $\varphi = 64^{\circ}35'$ Фомальгаут (α Південної Риби), схилення якого дорівнює $-30^{\circ}5'$?
49. Зірка, що описує над горизонтом дугу в 180° від сходу до заходу, під час верхньої кульмінації знаходиться від зеніту на 55° . Під яким кутом небесний екватор нахилений до горизонту даної місцевості?
50. Яке схилення зірки, що спостерігалася на широті $\varphi = 64^{\circ}35'$ в нижній кульмінації на висоті 10° ?
51. В Одесі ($\varphi = 46^{\circ}29'$) на зенітній відстані $63^{\circ}5'$ спостерігалася верхня кульмінація Сиріуса. Яке його схилення?
52. Яке схилення зір, що кульмінують в місцевості з широтою φ в точці півночі?
53. Яке схилення зір, що кульмінують в зеніті в пункті, широта якого дорівнює φ ?
54. Яке схилення зір, що проходять у верхній кульмінації через зеніт на широтах $\varphi = 55^{\circ}45'$, $\varphi = 50^{\circ}27'$ і $\varphi = 41^{\circ}43'$?
55. До якого схилення видно зірки південної півкулі на широті $\varphi = 59^{\circ}57'$ і $\varphi = 41^{\circ}20'$?
56. У деякому пункті спостерігалася в нижній кульмінації зірка β Малої Ведмедиці ($\delta = +74^{\circ}31'$) на зенітній відстані $63^{\circ}46'$. Яка широта місця спостереження?
57. Зірку α Візничого ($\delta = +45^{\circ}54'$) в момент нижньої кульмінації видно на горизонті. Яка висота полюса світу над горизонтом в місці спостереження?

58. Висота зірки, що знаходиться на небесному екваторі, в момент її верхньої кульмінації дорівнює 30° . Яка висота полюса в місці спостереження?
59. На південь від зеніту висота нижнього краю Сонця в меридіані, виміряна за допомогою секстанта на морському судні, була $84^\circ 21'$, схилення центру Сонця $+18^\circ 39'$. Визначити широту, враховуючи, що кутовий діаметр Сонця дорівнює $32'$.
60. Зенітна відстань нижнього краю Сонця у верхній кульмінації з врахуванням всіх поправок $55^\circ 42' 19''$, кутовий радіус Сонця $16' 10''$, схилення центру Сонця $-14^\circ 34' 56''$. Визначити широту місця спостереження.
61. Полуденна висота центру Сонця $30^\circ 15'$ (з врахуванням всіх потрібних поправок). Схилення Сонця в цей час $\delta = -19^\circ 25'$. Визначити широту місця спостереження.
62. Знайти широту місцевості, якщо опівнічне Сонце спостерігалось на висоті $4^\circ 11'$, а його схилення було $+22^\circ 8'$.
63. Зірка, що не заходить, має висоту 20° в нижній кульмінації і 50° у верхній. Знайти схилення цієї зірки і широту місця спостереження.
64. Зірка, що не заходить, спостерігалася у верхній кульмінації на північ від зеніту на зенітній відстані $29^\circ 47'$, а в нижній – на $41^\circ 49'$. Визначити географічну широту місця спостереження.
65. Годинний кут зорі 20^h , а її зенітна відстань 40° . Який буде її годинний кут по іншу сторону меридіана на тій же висоті?
66. Визначити висоту полюса світу і нахил небесного екватора до справжнього горизонту на земному екваторі, на північному тропіку ($\varphi = +23^\circ 26'$), на північному полярному колі ($\varphi = +66^\circ 34'$) і на північному географічному полюсі.
67. Схилення зірки Міцар (ϵ Великої Ведмедиці) дорівнює $+55^\circ 11'$. На якій зенітній відстані і на якій висоті вона перебуває у верхній кульмінації на широтах $+59^\circ 46'$ і $+38^\circ 33'$?
68. На якій найменшій зенітній відстані і найбільшій висоті перебувають на широтах $\varphi = +45^\circ 12'$ та $\varphi = +68^\circ 59'$ зірки

- Аліот (ζ Великої Ведмедиці) і Антарес (α Скорпіона), схилення яких відповідно дорівнює $+56^{\circ}14'$ і $-26^{\circ}19'$? Вказати азимут і годинний кут кожної зірки в ці моменти.
69. У деякому місці спостереження зірка зі схиленням $+32^{\circ}19'$ піднімається над точкою півдня на висоту $63^{\circ}42'$. Знайти зенітну відстань і висоту цієї зірки в тому ж місці при азимуті 180° .
 70. Розв'язати попередню задачу для тієї ж зірки за умови її найменшої зенітної відстані $63^{\circ}42'$ на північ від зеніту.
 71. Яке схилення повинні мати зірки, щоб у верхній кульмінації проходити в зеніті, а в нижній кульмінації – в надирі, точці півночі і точці півдня місця спостереження? Чому дорівнює географічна широта цих місць?
 72. Обчислити зенітну відстань, висоту, азимут і годинний кут у верхній і нижній кульмінації зірки ϕ Лебедя (схилення $+27^{\circ}51'$) на земному екваторі, на північному і південному тропіку ($\phi = \pm 23^{\circ}26'$), на географічній широті ($\phi = \pm 27^{\circ}51'$), на північному і південному полярних колах ($\phi = \pm 66^{\circ}34'$) і географічних полюсах.
 73. Чому дорівнює різниця зенітних відстаней двох зір при однойменних кульмінаціях в одному пункті спостереження?
 74. Розв'язати попередню задачу для зір γ Андромеди й α Овна, схилення яких $+42^{\circ}05'$ і $+23^{\circ}14'$ відповідно. Вказати відмінність азимутів і годинних кутів цих зір в однойменних кульмінаціях на широтах $\phi = +48^{\circ}28'$ та $\phi = +38^{\circ}33'$.
 75. Знайти різницю зенітних відстаней зірки при її різнойменних кульмінаціях в одному пункті спостереження.
 76. Розв'язати попередню задачу для зір, верхня кульмінація яких на широтах $\phi = +57^{\circ}38'$ і $\phi = +41^{\circ}18'$ відбувається над точкою півдня.
 77. Обчислити різницю найбільшої і найменшої висоти Альдебарана в тих місцях, де обидві її кульмінації відбуваються на північ від зеніту. У межах яких

географічних паралелей можливі ці явища? Схилення Альдебарана $+16^{\circ}25'$.

78. Знайти різницю зенітних відстаней при однойменних кульмінаціях зірки на різних географічних паралелях.
79. Розв'язати попередню задачу для Аліота (ϵ Великої Ведмедиці) і Спіки (α Діви) за спостереженнями на широтах $\varphi = +59^{\circ}46'$ і $\varphi = +37^{\circ}45'$. Схилення цих зір відповідно $+56^{\circ}14'$ і $-10^{\circ}54'$.
80. У зірки α Великої Ведмедиці схилення $+62^{\circ}01'$, а у зірки α Південної Риби $-29^{\circ}54'$. Чому дорівнюють висота полюса світу і нахил небесного екватора до справжнього горизонту на тих географічних паралелях, де ці зірки проходять в зеніті, кульмінують в точці півдня і точці півночі? Розглянути обидві кульмінації і зробити узагальнюючий висновок.
81. На широті $\varphi = +55^{\circ}45'$ зірка η Великої Ведмедиці в нижній кульмінації знаходиться на висоті $+15^{\circ}19'$. Чи цілодобово перебуває вона над горизонтом у місцевостях, широта яких $\varphi = +56^{\circ}20'$ та $\varphi = +37^{\circ}45'$?
82. Схилення Денеба $+45^{\circ}6'$. Знайти умови його видимості на широтах $\varphi = +58^{\circ}36'$ і $\varphi = -34^{\circ}54'$.
83. Зірки з яким схиленням проходять в зеніті і надирі на широтах $\varphi = +61^{\circ}47'$, $\varphi = +41^{\circ}42'$ і $\varphi = -35^{\circ}20'$ і які умови їх видимості в цих місцях?
84. На яких географічних паралелях Вега (α Ліри) і β Скорпіона не заходять? Схилення цих зір відповідно дорівнює $+38^{\circ}44'$ і $-19^{\circ}40'$.
85. З яких географічних паралелей північної земної півкулі стають видимі Толіман (α Центавра) і Каноус (α Кіля), схилення яких відповідно дорівнює $-60^{\circ}38'$ і $-52^{\circ}40'$? Які з цих зір видно на широті $\varphi = +35^{\circ}15'$ та в Тернополі?
86. З яких географічних паралелей Алголь (β Персея, $\delta = +40^{\circ}46'$) і Антарес (α Скорпіона, $\delta = -26^{\circ}19'$) не сходять?
87. Обчислити пояси географічної широти, в яких основні зірки Великої Ведмедиці і Південного Хреста не сходять над горизонтом, сходять і заходять, а також не заходять. Схилення цих зір знаходиться в межах від $+62^{\circ}01'$ (α) до $+49^{\circ}26'$ (η), а Південного Хреста – від $-62^{\circ}49'$ (α) до $-56^{\circ}50'$ (γ).

§2. Видимий річний рух Сонця, зміна пір року і астрономічні ознаки теплових поясів

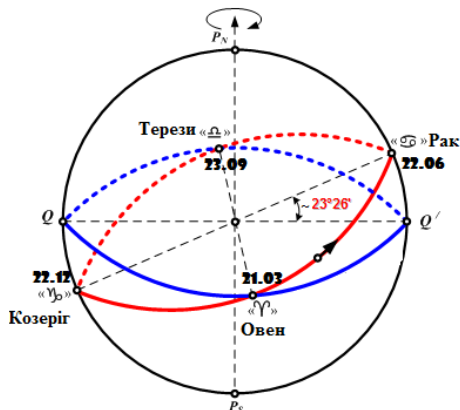


Рис. 8. Рух Сонця по екліптиці

В нашу епоху екліптика нахилена до небесного екватора під кутом $\varepsilon = 23^\circ 26'$ і тому схилення Сонця протягом року змінюється в межах $\pm 23^\circ 26'$. Нахил земної осі визначається кутом між нею і перпендикуляром до площини земної орбіти (до осі екліптики).

Внаслідок притягання Землі іншими планетами цей кут з часом змінюється. Визначено, що завдяки притягання планет Сонячної системи площина земної орбіти «погойдується» відносно далеких зір з періодом близько 41000 років, так що значення кута ε змінюється в межах від $22,068$ до $24,568^\circ$. У наш час кут ε щорічно зменшується на $0,47''$.

21-22 березня Сонце перетинає небесний екватор, піднімаючись в північну півкулю. У цей момент центр Сонця знаходиться в точці весняного рівнодення (рис. 8). Приблизно через чверть року, а саме 22 червня, Сонце займає найвище положення над екватором – це день літнього сонцестояння. 23 вересня Сонце приходить в точку осіннього рівнодення і 22 грудня найнижче опускається під небесний екватор (у південну півкулю неба) – це день зимового сонцестояння.

Якщо через E_0 позначити кількість тепла, що отримується одиницею площі земної поверхні від Сонця, що знаходиться в зеніті, то при зенітній відстані Сонця z та ж одиниця площі отримує кількість тепла

$$E = E_0 \cos z,$$

що дозволяє порівнювати E_1 і E_2 при зенітних відстанях Сонця z_1 і z_2 .

Громадянські сутінки тривають доти, поки Сонце не сховається під горизонт на 7° ($h = -7^\circ$ і $z = 97^\circ$). Якщо ж навіть в нижній кульмінації висота Сонця $h_H \geq -7^\circ$ ($z_H \leq 97^\circ$), то громадянські сутінки тривають до сходу Сонця і називаються *білими ночами*.

Підставляючи у формулу $h_H = \delta - (90^\circ - \varphi)$ $h_H = -7^\circ$, легко знайти географічну широту місць, в яких настають білі ночі при різних значеннях схилення Сонця. Та ж формула, при підстановці в неї $h_H = -18^\circ$ дає границю темних ночей, при яких світанкове освітлення повністю зникає. При $h_H = -0^\circ,9$ (приведені значення h_H і h_B враховують величину радіусу сонячного диска $0^\circ,3$ і середню рефракцію біля горизонту $0^\circ,6$, що дає $0^\circ,9$) верхній край сонячного диска дотикається до горизонту, і тим самим визначається початок і закінчення полярного дня. Початок і закінчення полярної ночі обумовлені полуденною висотою Сонця: $h_B = -0^\circ,9$ (або $z_B = 90^\circ,9$).

Тривалість періоду білих ночей, полярного дня і полярної ночі знаходиться за календарними датами, в які схилення Сонця має обчислене або задане значення, а самі дати встановлюються за астрономічними календарями-щорічниками або за таблицею додатку 8. При розв'язуванні таких завдань достатньо користуватися значеннями географічної широти і схилення Сонця з точністю до $0^\circ,1$.

Приклади розв'язування задач

Приклад 1. На якій географічній широті Сонце кульмінує в день літнього сонцестояння на висоті $+72^\circ 50'$ над точкою півночі? Які полуденна і опівнічна висоти Сонця на цій широті в дні рівнодень і зимового сонцестояння?

Дано: день літнього сонцестояння; $h_\delta = +72^\circ 50' N$; $\delta = +23^\circ 26'$.

Розв'язок.

В день літнього сонцестояння полуденна зенітна відстань Сонця

$$z_\delta = 90^\circ - h_\delta = 90^\circ - 72^\circ 50' N = 17^\circ 10' N,$$

і так як кульмінація відбувається на північ від зеніту, то $\delta > \varphi$, і

$$\varphi = \delta - z_{\delta} = +23^{\circ}26' - 17^{\circ}10' = +6^{\circ}16'.$$

В дні рівнодень $\delta = 0^{\circ}$, тому полуденна висота:

$$h_{\delta} = 90^{\circ} - \varphi = 90^{\circ} - 6^{\circ}16' = +83^{\circ}44' S$$

і опівнічна висота:

$$h_n = -(90^{\circ} - \varphi) = -(90^{\circ} - 6^{\circ}16') = -83^{\circ}44' N.$$

В день зимового сонцестояння $\delta = -23^{\circ}26'$, тобто $\delta < \varphi$, і тому:

$$h_{\delta} = 90^{\circ} - \varphi + \delta = 90^{\circ} - 6^{\circ}16' - 23^{\circ}26' = +60^{\circ}18' S$$

$$h_n = \delta - (90^{\circ} - \varphi) = -23^{\circ}26' - (90^{\circ} - 6^{\circ}16') = -107^{\circ}10' N.$$

Отримана висота в нижній кульмінації менша -90° , що неможливо. Це означає, що нижня кульмінація Сонця проходить під точкою півдня S. Тому справжня висота

$$h_n = -(180^{\circ} - 107^{\circ}10') = -72^{\circ}50'.$$

Приклад 2. Знайти тривалість періоду білих ночей і тривалість полярного дня і полярної ночі на широті $\varphi = +69^{\circ}41'$.

Дано: $\varphi = +69^{\circ}41' = +69^{\circ},7$.

Розв'язок.

Знайдемо схилення Сонця δ , враховуючи, що $h_n = -7^{\circ}$:

$$\delta = h_n + (90^{\circ} - \varphi) = -7^{\circ} + (90^{\circ} - 69^{\circ},7) = +13^{\circ},3.$$

За тією ж формулою при $h_n = -0^{\circ},9$ отримаємо схилення для Сонця, що не заходить, $\delta = +19^{\circ},4$. Для Сонця, що не сходить, отримаємо:

$$\delta = \varphi - z_{\delta} = 69^{\circ},7 - 90^{\circ},9 = -21^{\circ},2.$$

За астрономічним календарем-щорічником або за таблицею додатку 8 встановлюємо, що схилення Сонця $\delta = +13^{\circ},3$ 26 квітня і 18 серпня, $\delta = +19^{\circ},4$ – 18 травня і 27 липня, а $\delta = -21^{\circ},2$ – 28 листопада і 15 січня.

Тому на цій широті з 26 квітня до 18 травня і з 27 липня до 18 серпня тривають білі ночі, з 18 травня до 27 липня триває полярний день, а з 28 листопада до 15 січня – полярна ніч.

Задачі для самостійного розв'язування

88. Коли зенітна відстань Сонця 90° ? азимут 0° ?

89. За який час Сонце, внаслідок свого руху по екліптиці, переміститься на величину свого діаметра?

90. Які довгота і широта Сонця 22 червня і 22 грудня?

91. Яка довгота Сонця 22 вересня? 1 жовтня? 1 січня?

92. Які пряме сходження і схилення Сонця 21 березня і 23 вересня?
93. Які пряме сходження і схилення Сонця 22 червня? 22 грудня?
94. Які довгота і широта Сонця в ті моменти, коли його пряме сходження 6° і 12° ?
95. Яка полуденна висота Сонця на широті $\varphi = 55^{\circ}45'$ в день літнього сонцестояння?
96. На якій висоті перебуває Сонце опівдні 22 грудня у місцевості, географічна широта якої $64^{\circ}33'$?
97. Яка висота Сонця в меридіані в день літнього сонцестояння на широтах $59^{\circ}57'$, $41^{\circ}20'$, $23^{\circ}26'$, $66^{\circ}34'$? Те ж для зимового сонцестояння.
98. Яка висота полюса світу в тому місці на Землі, де 22 червня центр Сонця опівночі знаходиться точно на горизонті, в припущенні, що рефракції немає?
99. На скільки опускається центр Сонця під горизонт опівночі 22 червня на широті $\varphi = 64^{\circ}35'$?
100. На якій висоті видно Сонце на Південному полюсі 22 грудня?
101. Яка висота полюса світу в тому місці Землі, де висота центру Сонця опівдні 22 червня дорівнює $69^{\circ}38'$? Яка висота Сонця в тому ж місці опівдні 22 грудня?
102. 23 вересня тінь стрижня, розміщеного перпендикулярно поверхні, опівдні склала 0,731 від його висоти. Визначити географічну широту місцевості без допомоги астрономічного календаря.
103. Тінь стовпа, розміщеного перпендикулярно поверхні, опівдні на широті $\varphi = 55^{\circ}45'$ була 0,854 висоти стовпа. В який день року зроблено це спостереження?
104. Близько 1100 р. до нашої ери китайські астрономи вираховували, що в день літнього сонцестояння висота Сонця опівдні дорівнювала $79^{\circ}7'$, а в день зимового сонцестояння $31^{\circ}19'$ (на південь від зеніту). На якій широті було зроблено спостереження? Який тоді був нахил екліптики до екватора?
105. Обчислити нахил екліптики і визначити екваторіальні координати її основних точок за виміряними в дні

- сонцестоянь полуденними зенітними відстанями Сонця $29^{\circ}48'$ і $76^{\circ}42'$ на південь від зеніту.
106. Близько 3000 років тому в день літнього сонцестояння полуденна зенітна відстань Сонця в одному з місць земної поверхні була $26^{\circ}15'$, а в день зимового сонцестояння полуденна висота Сонця в тому ж місці дорівнювала $+16^{\circ}3'$. Обчислити нахил екліптики до небесного екватора в цю епоху.
 107. За результатами попередніх завдань обчислити річну зміну нахилу екліптики і зробити висновок про причину цієї зміни.
 108. Обчислити для днів рівнодень і сонцестоянь полуденну і опівнічну висоти і зенітні відстані Сонця на широті $+61^{\circ}47'$ та в Тернополі ($49^{\circ}34'$).
 109. За результатами попередньої задачі виявити закономірність у обчислених величинах і вказати, на яких широтах бувають білі, світлі і темні ночі в дні сонцестоянь.
 110. Визначити відношення кількості тепла, які одержують від Сонця опівдні в дні рівнодень і сонцестоянь зони, розміщені на широтах $\varphi = +61^{\circ}47'$, $\varphi = +55^{\circ}45'$ та $\varphi = +37^{\circ}45'$. Порівняння провести для кожного місця окремо (по датах) і по місяцях.
 111. Знайти полуденну і опівнічну висоти Сонця в дні рівнодень і сонцестоянь на земному екваторі, на тропіках, на полярних колах і географічних полюсах.
 112. Визначити відношення кількості тепла, які одержують в полудень в дні рівнодень і сонцестоянь місця земної поверхні, зазначені в попередній задачі. Порівняння провести для кожної місцевості (в різні дати) і для кожної дати (по місцевостях).
 113. На яких географічних паралелях Сонце не сходить, проходить в зеніті і не заходить в дні, коли його схилення дорівнює $+21^{\circ}19'$ і $-16^{\circ}43'$?
 114. В які дні року Сонце проходить в зеніті і надирі екватора, тропіків і земних паралелей з географічною широтою $+7^{\circ}48'$ і $-18^{\circ}35'$?
 115. На якій географічній широті Сонце кульмінує в день літнього сонцестояння на зенітній відстані $10^{\circ}41'$ на

північ від zenіту? Чому дорівнює полуденна і опівнічна висота Сонця на тій же широті в дні рівнодень і сонцестоянь?

116. Розв'язати попередню задачу при тій ж полуденній zenітній відстані Сонця, але на південь від zenіту.
117. Знайти планетографічну широту тропіків і полярних кіл на Марсі, Юпітері і Урані, якщо нахил осі Марса дорівнює $24^{\circ}48'$, осі Юпітера $3^{\circ}7'$, а осі Урана 98° (нахил більший 90° означає протилежне до земного обертання планети).
118. За результатами попередньої задачі визначити особливості розташування тропіків і полярних кіл в порівнянні з земними і визначити межі зміни схилення Сонця на небосхилі цих планет.
119. Обчислити відношення кількості тепла, яке одержують від Сонця опівдні в дні рівнодень і літнього сонцестояння екватор, північні тропіки і північні полярні кола Урана і з'ясувати умови освітлення різних зон цієї планети протягом періоду її обертання навколо Сонця, близького до 84 років. Нахил осі планети 98° .
120. При якому схиленні Сонця настають білі ночі на широтах $\varphi = +59^{\circ}57'$ і $\varphi = +64^{\circ}34'$? Чи можливі на цих широтах полярні дні і полярні ночі?
121. За результатами попередньої задачі визначити тривалість періоду білих ночей на цих широтах.
122. Знайти тривалість періоду білих ночей і тривалість полярного дня і полярної ночі на широтах $\varphi = +68^{\circ}59'$ і $\varphi = +71^{\circ}58'$ та визначити найбільшу полуденну і опівнічну висоти Сонця.
123. До яких географічних паралелей поширюються межі полярного дня, полярної ночі, білих і темних ночей в дні рівнодень і сонцестоянь?
124. На яких географічних паралелях починаються і закінчуються періоди білих ночей, полярного дня і полярної ночі при схиленні Сонця 10° і 21° ? Приблизно в які дні року це відбувається?

§3. Системи відліку часу та їх перетворення

Зоряною добою називається проміжок часу між двома послідовними однойменними (наприклад, верхніми) кульмінаціями точки весняного рівнодення. Момент її верхньої кульмінації береться за початок зоряної доби. Зоряний час S вимірюється годинним кутом t_γ точки весняного рівнодення і тому завжди $S = t_\gamma$.

В небесного світила з прямим сходженням α годинний кут

$$t = S - \alpha.$$

У верхній кульмінації для світила $t = 0^\circ$, в нижній $t = 12^\circ$. У верхній кульмінації $S = \alpha$, тобто в момент верхньої кульмінації світила зоряний час чисельно дорівнює його прямому сходженню.

Зоряний час S в пункті з географічною довготою λ пов'язаний із зоряним *гринвіцьким* (*всесвітнім*) часом S_0 рівністю

$$S = S_0 + \lambda,$$

причому λ відраховується на схід від Гринвіча і виражається в годинах, хвилинах і секундах часу. Для переведення градусних одиниць в одиниці часу можна використовувати таблиці додатків 2 та 3.

В один і той же фізичний момент зоряний час S_1 і S_2 двох пунктів відрізняється на різницю географічних довгот λ_1 і λ_2 цих пунктів, тобто

$$S_2 - S_1 = \lambda_2 - \lambda_1.$$

Справжньою сонячною добою називається проміжок часу між двома послідовними верхніми (або нижніми) кульмінаціями центру Сонця. Справжній сонячний час вимірюється годинним кутом центру Сонця. За початок доби зручно прийняти полудень, хоча загальноприйнято початком доби вважати північ. У цьому випадку сонячний час дорівнює годинному куту Сонця плюс 12° .

Тривалість справжньої сонячної доби протягом року змінюється внаслідок нерівномірної швидкості руху Сонця по екліптиці, а також внаслідок нахилу екліптики до екватора. Через останню причину проекція на екватор добового зміщення Сонця по екліптиці протягом року різна.

Для усунення цих незручностей вводиться поняття про *середнє Сонце*, тобто про уявну точку, яка рівномірно рухається

по екватору і завершує по ньому повний оберт за один тропічний рік.

Середньою сонячною добою називається проміжок часу між двома послідовними верхніми (або нижніми) кульмінаціями середнього Сонця. Тривалість такої доби постійна. Середній сонячний час вимірюється годинним кутом середнього Сонця.

Реально ми спостерігаємо справжнє Сонце, зокрема можемо зафіксувати його проходження через небесний меридіан. Однак наші годинники показують середній сонячний час T_λ . Зв'язок між справжнім сонячним часом T_\odot і середнім сонячним часом T_λ , виміряним на тому ж географічному меридіані, задається за допомогою *рівняння часу*:

$$\eta = T_\lambda - T_\odot.$$

Рівнянням часу називається також сама величина η , яку обчислюють наперед і подають на кожен день у всіх астрономічних щорічниках. Наближено його можна визначати з рис. 9.

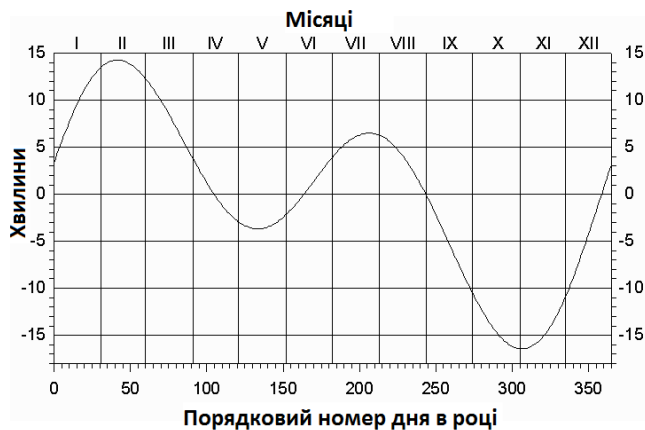


Рис. 9. Зміна величини рівняння часу протягом року

З визначення часу T_\odot і T_λ , а також з домовленості про напрям відліку прямого піднесення α можна побачити, що виконується рівність:

$$\eta = \alpha_\odot - \alpha,$$

тобто рівняння часу дорівнює різниці між прямим піднесенням справжнього Сонця α_\odot і прямим піднесенням «середнього Сонця» α . Це означає, що в дні, коли Сонце у русі по екліптиці

обганяє «середнє Сонце», тобто коли $\alpha_{\odot} > \alpha$, рівняння часу $\eta > 0$, тоді $T_{\lambda} > T_{\odot}$ і середній південь настає швидше, ніж справжній, і навпаки, $\eta < 0$, коли $\alpha_{\odot} < \alpha$.

Середня сонячна доба, що використовується в практичному житті довша зоряної доби на $3^{\text{хв}}56^{\text{с}}$.

Зоряний час опівдні 22 березня приблизно дорівнює $0^{\text{г}}$. В полудень будь-якого дня року зоряний час дорівнює $4^{\text{хв}}$ (точніше $3^{\text{хв}}56^{\text{с}}$), помножені на число днів, що пройшли з 22 березня до даного дня). Точне значення зоряного часу в гринвічський полудень дається на кожен день в астрономічному календарі для даного року.

Зоряний час в будь-яку годину сонячного часу дорівнює зоряному часу опівдні цього дня плюс число годин, що пройшли від полудня до даного моменту сонячного часу. При точнішому розрахунку треба ще врахувати, що зоряний час тече швидше сонячного, обганяючи його на $3^{\text{хв}}56^{\text{с}}$ за добу (за 24 години). Наприклад, о 6 годині вечора 1 травня зоряний час дорівнює $2^{\text{г}}37^{\text{хв}} + 6^{\text{г}} + (3^{\text{хв}}56^{\text{с}})(6/24) = 8^{\text{г}}37^{\text{хв}}59^{\text{с}}$.

Переведення зоряного часу S в середній сонячний T_{λ} можна проводити також за формулою

$$T_{\lambda} = S - S_0 - 3^{\text{хв}}56^{\text{с}}(T_{\lambda}/24),$$

а переведення сонячного в зоряний – за формулою

$$S = S_0 + T_{\lambda} + 3^{\text{хв}}56^{\text{с}}(T_{\lambda}/24),$$

де S_0 – зоряний час в середній полудень (або опівніч, якщо відлік T_{λ} йде від опівночі), а T_{λ} виражається в годинах. Перетворення інтервалу зоряного часу в інтервал середнього сонячного часу і навпаки точніше робиться за таблицею додатку 5, яка дає якраз величини $T_{\lambda} + 3^{\text{хв}}56^{\text{с}}(T_{\lambda}/24)$ за заданими $S - S_0$, і навпаки.

При розрахунках необхідно переводити інтервали зоряного часу ΔS в інтервали середнього місцевого часу ΔT (або навпаки), а значення всесвітнього зоряного часу s_0 знаходити в астрономічних календарях-щорічниках або користуватися таблицею додатку 6.

Нехай деяке явище в якомусь пункті земної поверхні відбулося в момент T_{λ} місцевого часу. Залежно від прийнятої системи відліку часу знаходиться середній гринвічський час T_0 , що є інтервалом середнього часу ΔT , що пройшов з гринвічської півночі ($\Delta T = T_0$). Цей інтервал за таблицею додатку 6

переводиться в інтервал зоряного часу ΔS і тоді в заданий момент T_λ зоряний час в Гринвічі

$$S_0 = s_0 + \Delta S,$$

а в даному пункті

$$S = S_0 + \lambda,$$

де λ – географічна довгота деякого пункту земної поверхні.

Переведення інтервалів зоряного часу ΔS в інтервали середнього місцевого часу $\Delta T = T_0$ здійснюється за таблицею додатку 6 відніманням поправки.

При точних розрахунках зоряного часу треба брати зоряний час в місцеву північ за календарем, де цей час дається для гринвіцької півночі. Якщо місцевість має довготу λ на схід від Гринвіча (в годинах), то зоряний час в місцевий полудень дорівнює зоряному часу в гринвіцький полудень мінус $3^{\text{хв}}56^{\text{с}}(\lambda/24)$. Рівняння часу в місцевий полудень також відрізняється від рівняння часу для Гринвіча на величину, рівну його годинній зміні, помноженій на східну довготу місцевості (у годинах).

Місцевий середній час

$$T_\lambda = T_\odot + \eta,$$

де η – рівняння часу, а T_\odot – справжній сонячний час, виміряний годинним кутом Сонця, збільшеним на $12^{\text{г}}$, тобто

$$T_\odot = t_\odot + 12^{\text{г}}.$$

Місцеві середні часи $T_{\lambda 1}$ і $T_{\lambda 2}$ двох пунктів пов'язані між собою рівністю:

$$T_{\lambda 2} - T_{\lambda 1} = \lambda_2 - \lambda_1.$$

а з середнім гринвіцьким часом T_0 (всесвітнім часом) – рівністю

$$T_\lambda = T_0 + \lambda.$$

У практичному житті використовується або поясний час

$$T_n = T_0 + n$$

або декретний час

$$T_d = T_n + 1^{\text{г}} = T_n = T_0 + n + 1^{\text{г}},$$

де n – номер годинного поясу.

Для двох пунктів, розташованих в різних годинних поясах n_1 і n_2 ,

$$T_{d2} - T_{d1} = T_{n2} - T_{n1} = n_2 - n_1.$$

Якщо система відліку часу не вказана, то завжди мається на увазі час, що діє на даній території.

Покази годинника T_r (або S_r) не завжди відповідають моменту точного часу T або S . Різниця $u = T - T_r$ або $u = S - S_r$ називається *поправкою годинника*, знаючи яку можна визначати точний час за годинником, що йде невірнo. Зміна поправки годинника за одну добу (наступна поправка мінус попередня) називається *добовим ходом годинника* ω . Якщо він постійний, то поправка годинника в деякий момент t може бути обчислена за формулою

$$u = u_0 + \omega(t - t_0)$$

де u_0 – відома нам поправка годинника в момент t_0 .

Визначення поправки годинника знаходиться багатьма способами. Наприклад, знаючи пряме сходження світила α , спостерігають його кульмінацію і момент кульмінації відзначають за годинником. Годинник, що правильно йде за зоряним часом, повинен у цей момент показувати час $S = \alpha$. Якщо годинник йде за середнім, поясним або декретним часом, то треба розрахувати, коли за цим часом має бути кульмінація, і порівняти з тим, що фактично показував годинник.

Лінія зміни дат проходить по Тихому океану поблизу 180° довготи від Гринвіча між Камчаткою і Аляскою. Нова дата, наприклад 1 січня 2014 року, перш за все починається на цій лінії і поширюється до заходу. Перетинаючи цю лінію йдучи на захід, один день викидають з лічби; наприклад, після 5 березня наступний день вважають 7 березня. При русі ж на схід два дні підряд називають одним і тим же числом.

Приклади розв'язування задач

Приклад 1. Які екваторіальні координати повинні мати дві зірки, які в $7^h 35^{xb}$ зоряного часу кульмінували б у Тернополі ($\varphi = 49^\circ 34'$) на зенітній відстані 40° одна на південь, а інша на північ від зеніту?

Дано: $S = 7^h 35^{xb}$, $\varphi = 49^\circ 34'$, $z = 40^\circ$.

Розв'язок.

Зоря, що кульмінує на південь від зеніту, буде знаходитись у верхній кульмінації і для неї:

$$h_{s1} = 90^\circ - \varphi + \delta_1 \text{ і } z_1 = \varphi - \delta_1.$$

Для зорі, що кульмінує на північ від зеніту, можливі два випадки – вона може перебувати як у верхній кульмінації:

$$h_{s2} = 90^\circ - \delta_2 + \varphi \text{ і } z_2 = \delta_2 - \varphi,$$

а може перебувати у нижній:

$$h_{нз} = \varphi + \delta_3 - 90^\circ \text{ і } z_3 = 180^\circ - (\varphi + \delta_3).$$

Однак, з геометричних міркувань (див. рис.), можна прийти до висновку, що останнього випадку відбутися не може.

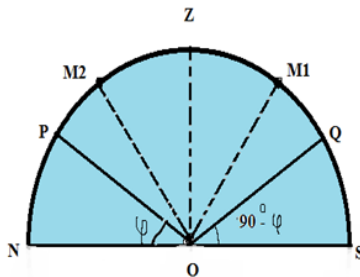
Пряме піднесення зір можна знайти з формули $S = t + \alpha$, враховуючи, що $t = 0^\circ$ – у верхній кульмінації та $t = 12^\circ$ – у нижній.

Отже, для зорі, що кульмінує на південь від зеніту:

$$\delta_1 = \varphi - z_1 = 49^\circ 34' - 40^\circ = 9^\circ 34', \alpha_1 = S = 7^\circ 35'^{XB}.$$

Для зірки, що кульмінує на північ від зеніту, і перебуває у верхній кульмінації:

$$\delta_2 = \varphi + z_2 = 49^\circ 34' + 40^\circ = 89^\circ 34', \alpha_1 = S = 7^\circ 35'^{XB}.$$



Приклад 2. Визначити зоряний час у пунктах з географічною довготою $2^\circ 23'^{XB} 37''$ і $7^\circ 46'^{XB} 20''$ в момент, коли в пункті з географічної довготою $80^\circ 5',5$ у Веги (α Ліри) годинний кут дорівнює $4^\circ 29'^{XB} 48''$. Пряме піднесення Веги $\alpha = 18^\circ 35'^{XB} 15''$.

Дано: $\lambda_1 = 2^\circ 23'^{XB} 37''$; $\lambda_2 = 7^\circ 46'^{XB} 20''$; $\lambda_3 = 80^\circ 05',5$; Вега, $\alpha = 18^\circ 35'^{XB} 15''$, $t = 4^\circ 29'^{XB} 48''$.

Розв'язок.

Знайдемо географічну довготу третього пункту в одиницях часу: $\lambda_3 = 80^\circ 5',5 = 5^\circ 20'^{XB} 22''$. Тоді зоряний час в третьому пункті

$$S_3 = \alpha + t = 18^\circ 35'^{XB} 15'' + 4^\circ 29'^{XB} 48'' = 23^\circ 5'^{XB} 3''.$$

З формули $S_3 - S_1 = \lambda_3 - \lambda_1$, отримуємо, що в першому пункті зоряний час

$$S_1 = S_3 + (\lambda_1 - \lambda_3) = 23^\circ 5'^{XB} 3'' + (2^\circ 23'^{XB} 37'' - 5^\circ 20'^{XB} 22'') = 20^\circ 8'^{XB} 18'',$$

а в другому пункті зоряний час

$$S_2 = S_3 + (\lambda_2 - \lambda_3) = 23^\circ 5'^{XB} 3'' + (7^\circ 46'^{XB} 20'' - 5^\circ 20'^{XB} 22'') = 25^\circ 31'^{XB} 1'',$$

але в цьому пункті уже почалася нова зоряна доба (але не календарна) і там $S_2 = 1^\circ 31'^{XB} 1''$.

Приклад 3. Капітан корабля виміряв в справжній полудень 22 грудня зенітну відстань Сонця – $66^\circ 33'$. Хронометр, що йде за гринвіцьким часом, показав у момент

спостереження $11^{\text{г}}54^{\text{хв}}$ ранку. Рівняння часу в цей день було $-9^{\text{хв}}$. Визначити, де знаходився корабель.

Дано: $T_{\odot} = 12^{\text{г}}$, $z_{\odot} = 66^{\circ}33'$, $T_0 = 11^{\text{г}}54^{\text{хв}}$, $\eta = -9^{\text{хв}}$.

Розв'язок.

Згідно формули $z_{\odot} = \varphi - \delta_{\odot}$ широта, на якій перебував корабель (22 грудня схилення Сонця $\delta_{\odot} = -23^{\circ}26'$):

$$\varphi = \delta_{\odot} + z_{\odot} = -23^{\circ}26' + 66^{\circ}33' = +43^{\circ}7'.$$

Знайдемо середній місцевий час на довготі корабля ($\eta = T_{\lambda} - T_{\odot}$):

$$T_{\lambda} = T_{\odot} + \eta = 11^{\text{г}}51^{\text{хв}}.$$

З формули $T_{\lambda} = T_0 + \lambda$ знаходимо довготу місцезнаходження корабля:

$$\lambda = T_{\lambda} - T_0 = 11^{\text{г}}51^{\text{хв}} - 11^{\text{г}}54^{\text{хв}} = -3^{\text{хв}}.$$

Знак мінус означає, що корабель знаходиться на захід від гринвіцького меридіана.

Отже, координати корабля: широта $+43^{\circ}7'$, довгота $-0^{\circ},75$ на захід від Гринвіча.

Приклад 4. Деякий пункт з географічною довготою $5^{\text{г}}34^{\text{хв}}$ знаходиться в п'ятому годинному поясі. Визначити місцевий середній, поясний і декретний час цього пункту в справжній полудень 27 жовтня, якщо в цей день рівняння часу дорівнює $-16^{\text{хв}}$.

Дано: $\lambda = 5^{\text{г}}34^{\text{хв}}$, $n = 5$; 27 жовтня $\eta = -16^{\text{хв}}$.

Розв'язок.

У справжній полудень справжній сонячний час $T_{\odot} = 12^{\text{г}}00^{\text{хв}}$. 27 жовтня місцевий середній час

$$T_{\lambda} = T_{\odot} + \eta = 12^{\text{г}}00^{\text{хв}} - 16^{\text{хв}} = 11^{\text{г}}44^{\text{хв}},$$

поясний час

$$T_{\pi} = T_{\lambda} + (n - \lambda) = 11^{\text{г}}44^{\text{хв}} - 34^{\text{хв}} = 11^{\text{г}}10^{\text{хв}}$$

і декретний час

$$T_{\mathcal{A}} = T_{\pi} + 1^{\text{г}} = 12^{\text{г}}10^{\text{хв}}.$$

Задачі для самостійного розв'язування

125. Який годинний кут зірки Денеб у $23^{\text{г}}17^{\text{хв}}$ зоряного часу, якщо її пряме сходження $20^{\text{г}}38^{\text{хв}}$?

126. Зоряний час дорівнює $21^{\text{г}}14^{\text{хв}}$. Пряме сходження зірки $14^{\text{г}}30^{\text{хв}}$. Знайти годинний кут зірки.

127. Годинний кут зірки $14^{\text{г}}22^{\text{хв}}$, пряме сходження $13^{\text{г}}2^{\text{хв}}$.
Знайти зоряний час в момент спостереження.
128. Який зоряний час в момент спостереження, якщо годинний кут зірки з прямим сходженням $21^{\text{г}}9^{\text{хв}}23^{\text{с}}$ дорівнює $98^{\circ}11'15''$ на схід?
129. В котрій годині за зоряним часом відбувається нижня кульмінація зірки, пряме сходження якої $158^{\circ}27'$?
130. У даний момент зоряний час $6^{\text{г}}38^{\text{хв}}$. Визначити пряме сходження світил, які перебуватимуть у верхній кульмінації через $2^{\text{г}}10^{\text{хв}}$.
131. Пряме сходження першої зірки $5^{\text{г}}29^{\text{хв}}$, а другої $10^{\text{г}}31^{\text{хв}}$.
Визначити, через скільки часу прокульмінує друга зірка після першої і перша після другої.
132. Якщо сьогодні деяка зірка кульмінує в $8^{\text{г}}$ вечора, то коли вона буде кульмінувати через 10 днів?
133. Коли приблизно за середнім сонячним часом 10 лютого кульмінує зірка Арктур ($\alpha = 14^{\text{г}}12^{\text{хв}}$)?
134. В котрій годині середнього сонячного часу 1 серпня буде кульмінувати Арктур, пряме сходження якого $14^{\text{г}}12^{\text{хв}}?$
135. В котрій годині середнього сонячного часу кульмінує 1 жовтня зоря α Лебеда ($\alpha = 20^{\text{г}}39^{\text{хв}}$)?
136. В який день Сиріус ($\alpha = 6^{\text{г}}42^{\text{хв}}$) кульмінує опівночі?
137. Якщо зірка, пряме сходження якої $18^{\text{г}}$, знаходиться в меридіані о $20^{\text{г}}$, то яка приблизно в цей момент дата?
138. О котрій годині 10 жовтня зірка Міцар ($\alpha = 13^{\text{г}}20^{\text{хв}}$) буде перебувати саме під північним полюсом світу? Зірка δ Оріона 14 листопада сходить в $20^{\text{г}}$. В який день вона зійде в $17^{\text{г}}30^{\text{хв}}$? Яке приблизно її пряме сходження, якщо її схилення дорівнює нулю?
139. Зірка δ Оріона 14 листопада сходить в 8:00 вечора. В який день вона зійде в $5^{\text{г}}30^{\text{хв}}$ вечора? Яке приблизно її пряме сходження, якщо її схилення дорівнює нулю?
140. Визначити зоряний час в моменти верхньої і нижньої кульмінації зірки Фомальгаут (α Південної Риби), пряме сходження якої $22^{\text{г}}54^{\text{хв}}53^{\text{с}}$.
141. Через скільки часу після верхньої кульмінації Денеба настане верхня кульмінація зірки γ Оріона, а потім – знову верхня кульмінація Денеба? Пряме сходження

- Денеба $20^{\circ}39^{\text{хв}}44^{\text{с}}$, а γ Оріона $5^{\circ}22^{\text{хв}}27^{\text{с}}$. Шукані інтервали виразити в системах зоряного і середнього часу.
142. У $14^{\circ}15^{\text{хв}}10^{\text{с}}$ за середнім часом Сиріус (α Великого Пса) з прямим піднесенням $6^{\circ}42^{\text{хв}}57^{\text{с}}$ знаходився в нижній кульмінації. В які найближчі моменти часу після цього Гема (α Північної Корони) буде знаходитися у верхній кульмінації і коли її годинний кут буде дорівнювати $3^{\circ}16^{\text{хв}}$? Пряме піднесення Гемі $15^{\circ}32^{\text{хв}}34^{\text{с}}$.
 143. У $4^{\circ}25^{\text{хв}}$ годинний кут зірки з прямим піднесенням $2^{\circ}12^{\text{хв}}30^{\text{с}}$ дорівнював $-34^{\circ}26'$. Знайти пряме сходження зір, які в $21^{\circ}50^{\text{хв}}$ будуть знаходитися у верхній і нижній кульмінації, а також тих зір, годинні кути яких $-1^{\circ}13^{\text{хв}}20^{\text{с}}$ і $5^{\circ}42^{\text{хв}}50^{\text{с}}$.
 144. Знайти зоряний час в моменти, в які годинний кут Ригеля (β Оріона) відповідно дорівнює $-3^{\circ}17^{\text{хв}}43^{\text{с}}$ і $1^{\circ}2^{\text{хв}}29^{\text{с}}$. Пряме сходження цієї зірки $5^{\circ}12^{\text{хв}}8^{\text{с}}$.
 145. Яке було б співвідношення сонячного часу і зоряного, якби Земля оберталася в протилежному напрямку?
 146. Через які інтервали середнього часу відбуваються однойменні і різнойменні кульмінації зір?
 147. На скільки зоряний годинник випередить годинник, який йде за середнім сонячним часом, за $10^{\circ}30^{\text{хв}}$ середнього сонячного часу?
 148. Яка тривалість зоряної доби, якщо вона виражена в середньому сонячному часі?
 149. Перевести інтервал $15^{\circ}11^{\text{хв}}50^{\text{с}},8$ зоряного часу в інтервал середнього сонячного часу.
 150. Перевести інтервал $5^{\circ}32^{\text{хв}}15^{\text{с}},43$ зоряного часу в інтервал середнього сонячного часу.
 151. Перевести інтервал $10^{\circ}12^{\text{хв}}5^{\text{с}},32$ середнього сонячного часу в зоряний час. Те ж для інтервалу $21^{\circ}22^{\text{хв}}4^{\text{с}},76$ середнього сонячного часу.
 152. Перевести інтервал $2^{\circ}23^{\text{хв}}24^{\text{с}},92$ середнього сонячного часу в інтервал зоряного часу.
 153. Виразити 1465 зоряних діб в середніх сонячних добах.
 154. О котрій годині середнього місцевого часу буде початок зоряної доби 1 липня? 20 серпня? 5 листопада? (Підрахувати наближено)

155. Підрахувати наближено зоряний час в середню опівніч 1 травня і опівночі 19 липня.
156. Знайти зоряний час 7 червня в $10^{\text{г}}$ ранку середнього місцевого часу.
157. Знайти зоряний час 27 грудня в $3^{\text{г}}$ вечора середнього місцевого часу.
158. Знайти зоряний час 10 травня в $10^{\text{г}}$ вечора середнього місцевого часу.
159. У давні часи нульовим меридіаном вважали меридіан острова Ферро, і на деяких картах довготи відзначають від Ферро. Ферро лежить на захід від Гринвіча на $17^{\circ}40'$. Яка довгота від Гринвіча пункту, якщо на карті він лежить від Ферро на 50° на схід?
160. Коли в Гринвічі $10^{\text{г}}17^{\text{хв}}14^{\text{с}}$, в деякому пункті $12^{\text{г}}43^{\text{хв}}21^{\text{с}}$. Яка довгота цього пункту?
161. Середній хронометр, який йде за місцевим часом деякого міста, привезений у Харків. Яка у нього буде поправка щодо харківського середнього часу, якщо довгота міста $5^{\text{г}}7^{\text{хв}}46^{\text{с}}$, а Харкова $2^{\text{г}}24^{\text{хв}}56^{\text{с}}$?
162. У Харкові полудень, а в деякому пункті в той же час годинник показує $12^{\text{г}}46^{\text{хв}}$. Яка довгота цього пункту від Гринвіча? (Довгота Харкова від Гринвіча $2^{\text{г}}25^{\text{хв}}$)
163. Довгота першого пункту від Гринвіча $37^{\circ}34'$ на схід. На якій довготі від Гринвіча знаходиться другий пункт, де годинник за зоряним часом показує $8^{\text{г}}45^{\text{хв}}$ в той час, коли в першому $2^{\text{г}}30^{\text{хв}}$?
164. З одного пункту в інший передали сигнал в $9^{\text{г}}8^{\text{хв}}32^{\text{с}}$ місцевого зоряного часу. Сигнал був отриманий в $9^{\text{г}}34^{\text{хв}}16^{\text{с}}$ місцевого зоряного часу. Яка різниця довгот цих місць в градусній мірі?
165. В деякому місті за годинником, що йде за київським зоряним часом, спостерігалася в $4^{\text{г}}48^{\text{хв}}$ верхня кульмінація Капелли ($\alpha = 5^{\text{г}}10^{\text{хв}}$). Яка різниця довгот цих міст?
166. В деякому місті спостерігалася верхня кульмінація Капелли в $2^{\text{г}}56^{\text{хв}}$ за хронометром, що показує зоряний львівський час. Пряме сходження Капелли $6^{\text{г}}10^{\text{хв}}$. Яка довгота місця спостереження?

167. У момент кульмінації зірки α Оріона ($\alpha = 5^{\text{h}}51^{\text{m}}_{\text{XB}}$) годинник, що йде точно за зоряним гринвіцьким часом, показує $15^{\text{h}}9^{\text{m}}_{\text{XB}}$. Визначити довготу Гринвіча щодо даного місця.
168. Мандрівники відмітили, що за місцевим часом затемнення Місяця почалося в $5^{\text{h}}13^{\text{m}}_{\text{XB}}$, тоді як за астрономічним календарем це затемнення повинно було відбутися в $3^{\text{h}}51^{\text{m}}_{\text{XB}}$ за гринвіцьким часом. Яка їх довгота?
169. Визначити зоряний час в пунктах з географічною довготою $2^{\text{h}}13^{\text{m}}23^{\text{s}}$ і $84^{\circ}58'$ в момент, коли в пункті з довготою $4^{\text{h}}37^{\text{m}}11^{\text{s}}$ Кастор (α Близнят) знаходиться у верхній кульмінації. Пряме сходження Кастора $7^{\text{h}}31^{\text{m}}25^{\text{s}}_{\text{M}}$.
170. Розв'язати попередню задачу для тих же пунктів, але для моменту часу, в який Капелла (α Візничого) знаходиться в нижній кульмінації в пункті, географічна довгота якого $6^{\text{h}}57^{\text{m}}5^{\text{s}}$. Пряме сходження Капели $5^{\text{h}}13^{\text{m}}_{\text{XB}}$.
171. Обчислити годинні кути Алголя (β Персея) і Альтаіра (α Орла) в $8^{\text{h}}20^{\text{m}}30^{\text{s}}$ зоряного часу. Пряме сходження цих зір відповідно дорівнює $3^{\text{h}}4^{\text{m}}54^{\text{s}}$ і $19^{\text{h}}48^{\text{m}}21^{\text{s}}$. Годинні кути виразити в градусній мірі.
172. Пряме сходження Міри (о Кита) $2^{\text{h}}16^{\text{m}}49^{\text{s}}$, Сиріуса (α Великого Пса) $6^{\text{h}}2^{\text{m}}57^{\text{s}}$ і Проціона (α Малого Пса) $7^{\text{h}}36^{\text{m}}41^{\text{s}}$. Які годинні кути цих зір в моменти верхньої і нижньої кульмінації Сиріуса?
173. Знайти годинні кути Кастора (α Близнюків) і Шеата (β Пегаса) в момент, коли годинний кут Веги (α Ліри) дорівнює $4^{\text{h}}15^{\text{m}}10^{\text{s}}$. Пряме сходження Кастора $7^{\text{h}}31^{\text{m}}25^{\text{s}}$, Веги $18^{\text{h}}35^{\text{m}}15^{\text{s}}$ і Шеата $23^{\text{h}}1^{\text{m}}21^{\text{s}}$.
174. Годинний кут Міри (о Кита) в Гринвічі дорівнює $2^{\text{h}}16^{\text{m}}47^{\text{s}}$. Визначити в цей момент зоряний час в пунктах з географічною довготою $2^{\text{h}}3^{\text{m}}2^{\text{s}}$ і $54^{\circ}44',5$. Пряме сходження Міри $2^{\text{h}}16^{\text{m}}49^{\text{s}}$.
175. Знайти зоряний час і годинний кут Міцара (ζ Великої Ведмедиці) в Гринвічі і в пункті з географічною довготою $6^{\text{h}}34^{\text{m}}9^{\text{s}}$ в той момент, коли в пункті з географічною довготою $8^{\text{h}}38^{\text{m}}58^{\text{s}}$ годинний кут Альдебарана (α Тельця) $329^{\circ}44'$. Пряме сходження Міцара $13^{\text{h}}21^{\text{m}}55^{\text{s}}$, а Альдебарана $4^{\text{h}}33^{\text{m}}3^{\text{s}}$.

176. Яке пряме сходження у зір, що знаходяться у верхній і нижній кульмінації в двох різних пунктах спостереження, якщо в одному з них, розташованому на схід від іншого на $36^{\circ}42'$, годинний кут Проціона (α Малого Пса) дорівнює $-2^{\text{г}}16^{\text{хв}}41^{\text{с}}$? Пряме сходження Проціона $7^{\text{г}}36^{\text{хв}}41^{\text{с}}$.
177. На яких географічних меридіанах зоряний час відповідно дорівнює $22^{\text{г}}48^{\text{хв}}30^{\text{с}}$ і $7^{\text{г}}36^{\text{хв}}34^{\text{с}}$, якщо в місцевості з географічною довготою $5^{\text{г}}31^{\text{хв}}40^{\text{с}}$ годинний кут Капелли (α Візничого) – $2^{\text{г}}39^{\text{хв}}08^{\text{с}}$? Пряме сходження Капелли $5^{\text{г}}13^{\text{хв}}$.
178. Через які інтервали зоряного часу після верхньої кульмінації зірки β Лева з прямим сходженням $11^{\text{г}}46^{\text{хв}}31^{\text{с}}$ зірка α Гідри буде знаходитися у верхній кульмінації, у нижній кульмінації і займати положення, яке характеризується годинним кутом $4^{\text{г}}25^{\text{хв}}16^{\text{м}}$? Пряме сходження α Гідри $9^{\text{г}}25^{\text{хв}}8^{\text{с}}$.
179. У момент верхньої кульмінації зірки ϵ Великої Ведмедиці з прямим сходженням $12^{\text{г}}51^{\text{хв}}50^{\text{с}}$ зоряний годинник показував $12^{\text{г}}41^{\text{хв}}28^{\text{с}}$, а в момент наступної нижньої кульмінації тієї ж зірки його покази були $0^{\text{г}}41^{\text{хв}}4^{\text{с}}$. При яких показах того ж годинника зірка β Малої Ведмедиці проходила ці кульмінації, якщо її сходження дорівнює $14^{\text{г}}50^{\text{хв}}50^{\text{с}}$?
180. Чому дорівнює наближене значення зоряного часу в середню, поясну і декретну північ в деякому пункті ($\lambda = 3^{\text{г}}33^{\text{хв}}$, $n = 3$) 8 лютого і 1 вересня?
181. Приблизно в які дні року Сиріус ($\alpha = 6^{\text{г}}43^{\text{хв}}$) і Антарес ($\alpha = 16^{\text{г}}26^{\text{хв}}$) знаходяться у верхній і нижній кульмінації в середню північ?
182. Визначити зоряний час в Гринвічі в $7^{\text{г}}28^{\text{хв}}16^{\text{с}}$ 9 січня ($s_0 = 7^{\text{г}}11^{\text{хв}}39^{\text{с}}$) і в $20^{\text{г}}53^{\text{хв}}47^{\text{с}}$ 25 липня ($s_0 = 20^{\text{г}}08^{\text{хв}}20^{\text{с}}$).
183. Знайти зоряний час в середній, поясній і декретній полудень, а також в середню, поясну і декретну північ в деякому пункті ($\lambda = 2^{\text{г}}30^{\text{хв}}17^{\text{с}}$, $n = 2$) 15 січня ($s_0 = 7^{\text{г}}35^{\text{хв}}18^{\text{с}}$).
184. Розв'язати попередню задачу для деяких пунктів ($\lambda = 6^{\text{г}}11^{\text{хв}}26^{\text{с}}$, $n = 6$ і $\lambda = 9^{\text{г}}33^{\text{хв}}10^{\text{с}}$, $n = 10$) 8 серпня ($s_0 = 21^{\text{г}}03^{\text{хв}}32^{\text{с}}$).

185. Обчислити годинні кути Денеба (α Лебеда) ($\alpha = 20^{\text{г}}39^{\text{хв}}44^{\text{с}}$) в Гринвічі в $19^{\text{г}}42^{\text{хв}}10^{\text{с}}$ 16 червня ($s_0 = 17^{\text{г}}34^{\text{хв}}34^{\text{с}}$) і 16 грудня ($s_0 = 5^{\text{г}}36^{\text{хв}}4^{\text{с}}$).
186. Обчислити годинні кути зір α Андромеди ($\alpha = 00^{\text{г}}5^{\text{хв}}48^{\text{с}}$) і β Лева ($\alpha = 11^{\text{г}}46^{\text{хв}}31^{\text{с}}$) в $20^{\text{г}}32^{\text{хв}}50^{\text{с}}$ 3 серпня ($s_0 = 20^{\text{г}}43^{\text{хв}}40^{\text{с}}$) і 5 грудня ($s_0 = 4^{\text{г}}52^{\text{хв}}42^{\text{с}}$) в деякому пункті ($\lambda = 8^{\text{г}}47^{\text{хв}}31^{\text{с}}$, $n = 9$).
187. Знайти годинні кути Бетельгейзе ($\alpha = 5^{\text{г}}52^{\text{хв}}28^{\text{с}}$) і Спіки ($\alpha = 13^{\text{г}}22^{\text{хв}}33^{\text{с}}$) в $1^{\text{г}}52^{\text{хв}}36^{\text{с}}$ 25 червня ($s_0 = 18^{\text{г}}6^{\text{хв}}7^{\text{с}}$) і 7 листопада ($s_0 = 2^{\text{г}}58^{\text{хв}}22^{\text{с}}$) в деякому пункті ($\lambda = 4^{\text{г}}37^{\text{хв}}11^{\text{с}}$, $n = 5$).
188. В які моменти часу в Гринвічі знаходяться у верхній кульмінації Поллукс ($\alpha = 7^{\text{г}}42^{\text{хв}}16^{\text{с}}$), а в нижній кульмінації Арктур ($\alpha = 14^{\text{г}}13^{\text{хв}}23^{\text{с}}$) 10 лютого ($s_0 = 9^{\text{г}}17^{\text{хв}}48^{\text{с}}$) і 9 травня ($s_0 = 15^{\text{г}}4^{\text{хв}}45^{\text{с}}$)?
189. Знайти моменти верхньої і нижньої кульмінації 22 березня ($s_0 = 11^{\text{г}}55^{\text{хв}}31^{\text{с}}$) і 22 червня ($s_0 = 17^{\text{г}}58^{\text{хв}}14^{\text{с}}$) Капелли ($\alpha = 5^{\text{г}}13^{\text{хв}}$) і Веги ($\alpha = 18^{\text{г}}35^{\text{хв}}15^{\text{с}}$) на географічному меридіані $\lambda = 3^{\text{г}}10^{\text{хв}}$ ($n = 3$). Моменти вказати по зоряному, середньому, поясному і декретному часу.
190. В які моменти часу 5 лютого ($s_0 = 8^{\text{г}}58^{\text{хв}}6^{\text{с}}$) і 15 серпня ($s_0 = 21^{\text{г}}31^{\text{хв}}8^{\text{с}}$) годинні кути Сиріуса ($\alpha = 6^{\text{г}}42^{\text{хв}}57^{\text{с}}$) і Альтаїра ($\alpha = 19^{\text{г}}48^{\text{хв}}21^{\text{с}}$) в деякому пункті ($\lambda = 4^{\text{г}}27^{\text{хв}}53^{\text{с}}$, $n = 4$) дорівнюють $3^{\text{г}}28^{\text{хв}}47^{\text{с}}$?
191. В які моменти часу 10 грудня ($s_0 = 5^{\text{г}}12^{\text{хв}}24^{\text{с}}$) годинні кути Альдебарана ($\alpha = 4^{\text{г}}33^{\text{хв}}3^{\text{с}}$) і β Лебеда ($\alpha = 19^{\text{г}}28^{\text{хв}}42^{\text{с}}$) в деяких пунктах ($\lambda = 2^{\text{г}}59^{\text{хв}}11^{\text{с}}$, $n = 3$ і $\lambda = 9^{\text{г}}33^{\text{хв}}10^{\text{с}}$, $n = 10$) відповідно дорівнюють $+67^{\circ}48'$ і $-24^{\circ}32'$?
192. На яких географічних меридіанах зірки α Близнюків і γ Великої Ведмедиці знаходяться у верхній кульмінації 20 вересня ($s_0 = 23^{\text{г}}53^{\text{хв}}4^{\text{с}}$) в $8^{\text{г}}40^{\text{хв}}26^{\text{с}}$ за часом деякого пункту ($n = 7$)? Пряме піднесення цих зір відповідно дорівнюють $7^{\text{г}}31^{\text{хв}}25^{\text{с}}$ і $11^{\text{г}}51^{\text{хв}}13^{\text{с}}$.
193. Діаметр деякого міста дорівнює 20 км. На скільки справжній полудень на його східній околиці наступає раніше, ніж на західній, якщо його широта $55^{\circ}45'$?
194. 14 червня за спостереженнями на кораблі, кульмінація Сонця відбулася в $8^{\text{г}}23^{\text{хв}}$ за хронометром, що показує

гринвіцький зоряний час. Кульмінація відбулася на зенітній відстані $22^{\circ}2'$ (рефракція врахована). Визначити довготу та широту судна, якщо за морським астрономічним щорічником в цей день і годину координати Сонця були $\alpha = 5^{\text{h}}26^{\text{m}}$, $\delta = +18^{\circ}25'$.

195. Затемнення Місяця почалося 2 квітня в $19^{\text{h}}3^{\text{m}}$ за світовим часом. О котрій годині воно почалося в деякому місті (довгота $5^{\text{h}}8^{\text{m}}$ на схід від Гринвіча, V пояс) за поясним, декретним, місцевим часом?
196. Місячне затемнення почалося 18 листопада в $20^{\text{h}}38^{\text{m}}51^{\text{s}}$ і закінчилося 19 листопада в $0^{\text{h}}10^{\text{m}}8^{\text{s}}2$ за всесвітнім часом. В які дати і моменти часу воно почалося і закінчилося в містах, які розміщені в III, V та VII годинних поясах?
197. Літнє сонцестояння настало 21 червня в $18^{\text{h}}38^{\text{m}}$ за всесвітнім часом. Коли воно настало за часом міст, зазначених у попередній задачі?
198. Знайти поясний час в Харкові ($\lambda = 2^{\text{h}}24^{\text{m}}56^{\text{s}}$, II пояс) для моменту $18^{\text{h}}24^{\text{m}}30^{\text{s}}$ місцевого середнього часу.
199. Знайти гринвіцький час, який відповідає поясному часу $12^{\text{h}}10^{\text{m}}30^{\text{s}}$ міста, яке знаходиться в V поясі.
200. 15 липня сонячний годинник показує 4 години дня. Котру годину у цей момент повинен показувати годинник, що йде за місцевим середнім часом? за зоряним?
201. Знайти середній місцевий, поясний і декретний час в пунктах з географічною довготою $4^{\text{h}}43^{\text{m}}28^{\text{s}}$ і $9^{\text{h}}8^{\text{m}}37^{\text{s}}$ в момент $6^{\text{h}}52^{\text{m}}6^{\text{s}}$ за середнім гринвіцьким часом. Перший пункт знаходиться в V, а другий – в X годинному поясі.
202. Визначити середній місцевий, поясний і декретний час в пунктах з географічною довготою $5^{\text{h}}12^{\text{m}}56^{\text{s}}$ і $7^{\text{h}}51^{\text{m}}22^{\text{s}}$, якщо в цей момент в третьому пункті годинник показував $17^{\text{h}}31^{\text{m}}44^{\text{s}}$ за середнім місцевим часом, а географічна довгота третього пункту дорівнює $6^{\text{h}}27^{\text{m}}36^{\text{s}}$. Перший пункт знаходиться в V, а другий – у VIII годинному поясі.
203. Знайти різницю між поясним і середнім місцевим, а також між декретним і середнім місцевим часом в пункті з географічною довготою $7^{\text{h}}18^{\text{m}}58^{\text{s}}$, який розташований в сьомому годинному поясі.

204. Визначити послідовність настання однойменних моментів за середнім місцевим, поясным і декретним часом в першому ($\lambda = 3^{\text{г}}19^{\text{хв}}$, $n = 3$) і другому ($\lambda = 5^{\text{г}}32^{\text{хв}}$, $n = 6$) пунктах.
205. В які моменти часу за різними системами відліку настають справжній полудень і справжня північ в пунктах з $\lambda = 2^{\text{г}}39^{\text{хв}}$, $n = 3$ і $\lambda = 3^{\text{г}}41^{\text{хв}}$, $n = 4$ у дні, коли рівняння часу відповідно дорівнює $+12^{\text{хв}}$ і $-15^{\text{хв}}$?
206. Точний міський годинник пункту, що знаходиться в шостому годинному поясі показує $7^{\text{г}}32^{\text{хв}}$ вечора. Який в цей момент середній місцевий, поясний і декретний час в Києві ($\lambda = 2^{\text{г}}2^{\text{хв}}$, $n = 2$) та в деякому пункті ($\lambda = 9^{\text{г}}$, $n = 9$)?
207. Літак вилетів з одного пункту ($n = 4$) в $11^{\text{г}}20^{\text{хв}}$ і прибув без запізнення в інший ($n = 7$) в $17^{\text{г}}45^{\text{хв}}$. Скільки часу летів літак і які моменти вильоту і прибуття вказані в розкладі польоту?
208. Телеграма відправлена з одного пункту ($n = 8$) у $7^{\text{г}}40^{\text{хв}}$ вечора за міським часом і доставлена адресату в іншому пункті ($n = 2$) в той же день в $16^{\text{г}}20^{\text{хв}}$ за часом цього міста. Скільки часу йшла телеграма і які моменти часу відправки і доставки відзначені на ній?
209. Коли за поясным часом міста (довгота $3^{\text{г}}16^{\text{хв}}29^{\text{с}}$, III пояс) 22 червня відбудеться кульмінація Сонця, якщо в цей день рівняння часу дорівнює $+1^{\text{хв}}20^{\text{с}}$?
210. Капітан корабля виміряв в справжній полудень 22 грудня зенітну відстань Сонця – $66^{\circ}33'$. Хронометр, що йде за гринвічським часом, показав у момент спостереження $11^{\text{г}}54^{\text{хв}}$ ранку. Рівняння часу в цей день було $-9^{\text{хв}}$. Які географічні координати корабля?
211. Знайти справжній місцевий час, який відповідає $13^{\text{г}}15^{\text{хв}}28^{\text{с}},5$ середнього місцевого часу, якщо рівняння часу в цей момент $+11^{\text{хв}}13^{\text{с}},97$.
212. Сонячний годинник 8 жовтня в Харкові показав $3^{\text{г}}$ дня. Рівняння часу в цей день було $-12^{\text{хв}}$. Котра це була година за декретним харківським часом?
213. Повне затемнення Сонця повинно було відбутися в пункті з довготою $\lambda = 2^{\text{г}}30^{\text{хв}}$ в $9^{\text{г}}27^{\text{хв}}$ світового часу. В даний день рівняння часу було $-9^{\text{хв}}$. Чи відбулося затемнення до моменту справжнього полудня?

214. 26 вересня Сонце в пункті з довготою $\lambda = 2^{\text{г}}30^{\text{хв}}$ сходить за середнім місцевим часом у $5^{\text{г}}51^{\text{хв}}$ ранку, а заходить в $5^{\text{г}}51^{\text{хв}}$ вечора. Чому дорівнює в цей день рівняння часу?
215. Яка різниця в тривалості часу від сходу Сонця до 12 години дня середнього часу і від 12 години дня середнього часу до заходу Сонця 1 листопада, коли рівняння часу дорівнює $-16^{\text{хв}}$?
216. Яке приблизно пряме сходження Сонця 7 листопада, якщо у цей день рівняння часу дорівнює $-16^{\text{хв}}$?
217. Опівдні 3 жовтня поправка годинника $-26^{\text{хв}}34^{\text{с}},67$. Середній добовий хід годинника $-1^{\text{с}},61$. Знайти поправку годинника в $18^{\text{г}}$ і $6^{\text{г}}$ того ж числа.
218. Годинник 5 січня показує $9^{\text{г}}18^{\text{хв}}13^{\text{с}},4$ ранку; опівдні 1 січня його поправка була $-2^{\text{хв}}6^{\text{с}},5$, добовий хід $+2^{\text{с}},9$. Знайти точний час у вказаний момент 5 січня.
219. Опівдні 3 лютого поправка годинника була $+6^{\text{хв}}14^{\text{с}}$. Добовий хід годинника $-11^{\text{с}}$. Визначити поправку годинника опівдні 1 і опівдні 6 лютого.
220. Поправка годинника 15 липня в $12^{\text{г}}$ була $9^{\text{хв}}1^{\text{с}}$, 18 липня в $12^{\text{г}}$ була $8^{\text{хв}}40^{\text{с}}$, 20 липня в $12^{\text{г}}$ була $8^{\text{хв}}24^{\text{с}}$. Визначити середній добовий хід годинника з 15 по 20 липня.
221. У журналі записані поправки годинника, визначені за радіосигналами точного часу: 9 вересня в $6^{\text{г}}$ — $-2^{\text{хв}}14^{\text{с}}$, 10 вересня в $6^{\text{г}}$ — $-2^{\text{хв}}21^{\text{с}}$, 14 вересня в $6^{\text{г}}$ — $-2^{\text{хв}}49^{\text{с}}$. Визначити поправку годинника для $6^{\text{г}}$ 12 вересня, для $18^{\text{г}}$ 12 вересня і для $6^{\text{г}}$ 16 вересня.
222. Зірка γ Малої Ведмедиці ($\alpha = 15^{\text{г}}20^{\text{хв}}49^{\text{с}}$) спостерігалась в нижній кульмінації, причому зоряний годинник в цей час показував $3^{\text{г}}39^{\text{хв}}33^{\text{с}}$. Яка поправка годинника?
223. У момент верхньої кульмінації β Великої Медведиці ($\alpha = 10^{\text{г}}55^{\text{хв}}48^{\text{с}}$) зоряний годинник показував $10^{\text{г}}55^{\text{хв}}32^{\text{с}}$. Визначити поправку годинника. Вказати, коли за цим несправним годинником відбудеться кульмінація α Великої Ведмедиці ($\alpha = 10^{\text{г}}57^{\text{хв}}34^{\text{с}}$).
224. Кульмінація Проціона ($\alpha = 7^{\text{г}}36^{\text{хв}}$) у пункті з довготою $\lambda = 2^{\text{г}}30^{\text{хв}}$ відбулася в ніч з 30 на 31 грудня в $1^{\text{г}}15^{\text{хв}}$ за годинником, що йде за декретним часом даного пункту. Яка його поправка?

225. У момент верхньої кульмінації зірки ($\alpha = 15^{\text{h}}32^{\text{m}}34^{\text{s}}$), годинник, що йде за зоряним часом, показував $15^{\text{h}}29^{\text{m}}42^{\text{s}}$. Знайти поправку годинника і його покази при годинному куті тієї ж зірки $1^{\text{h}}20^{\text{m}}50^{\text{s}}$.
226. У момент верхньої кульмінації зірки ($\alpha = 4^{\text{h}}33^{\text{m}}3^{\text{s}}$) зоряний годинник показував $4^{\text{h}}52^{\text{m}}16^{\text{s}}$, а в той же момент наступної ночі його покази були $4^{\text{h}}51^{\text{m}}$. Обчислити поправки зоряного годинника в моменти спостережень, а також їх добовий і годинний хід (тобто зміну поправки за добу і за одну годину).

§4. Практичне визначення географічних і небесних екваторіальних координат. Рефракція

Астрономи вимірюють зенітні відстані одних і тих же зір в обох кульмінаціях і за формулами знаходять їх схилення і географічну широту обсерваторії.

Знаючи ρ , визначають схилення світил, в яких спостерігається лише верхня кульмінація. При високоточних вимірюваннях враховується рефракція.

Атмосферна (астрономічна) рефракція – явище відхилення світлового променя від прямолінійного напрямку при його проходженні через атмосферу Землі.

За рахунок цього ефекту світило (промінь M , рис.10) спостерігається не на зенітній відстані z (промінь M_2), як це було б на планеті, позбавленій атмосфери, а на відстані z' (промінь M_1), причому

$$z' = z - \rho,$$

де ρ – кут рефракції, який залежить від температури і густини атмосфери (від висоти світила над горизонтом). Значення кута рефракції подано в таблиці додатку 4.

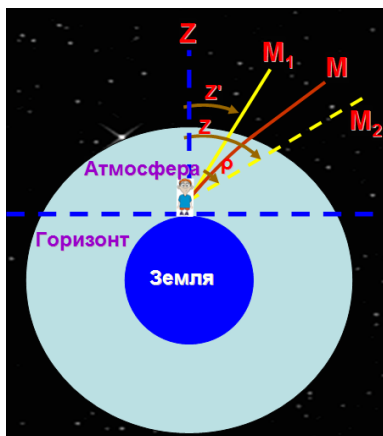


Рис. 10. Атмосферна рефракція

Завдяки рефракції світило завжди перебуває вище від свого справжнього положення.

У справжній полудень регулярно вимірюють зенітну відстань z_{\odot} Сонця і відмічають покази S_T зоряного годинника,

потім за формулою $z_B = \varphi - \delta$ визначають його схилення δ_\odot , а за ним – пряме сходження α_\odot , оскільки

$$\sin \alpha_\odot = \frac{\operatorname{tg} \delta_\odot}{\operatorname{tg} \varepsilon} = \operatorname{tg} \delta_\odot \operatorname{ctg} \varepsilon,$$

де $\varepsilon = 23^\circ 26'$ – нахил екліптики.

Одночасно визначається і поправка зоряного годинника

$$u = S - S_\Gamma = \alpha_\odot - S_\Gamma,$$

оскільки в справжній полудень годинний кут Сонця дорівнює нулю і тому зоряний час $S = \alpha_\odot$.

Відмічаючи покази S'_Γ того ж годинника в моменти верхньої кульмінації яскравих зір, знаходять їх пряме сходження

$$\alpha = \alpha_\odot + (S'_\Gamma - S_\Gamma)$$

і за ним аналогічно визначають пряме сходження інших світил, яке також може бути знайдене як

$$\alpha = S'_\Gamma + u.$$

За екваторіальними координатами зір (таблиці додатків 19-21), визначають географічні координати місць земної поверхні.

Приклади розв'язування задач

Приклад 1. В полудень зенітна відстань Сонця на географічній широті $\varphi = +59^\circ 46'$ була $39^\circ 33' S$, а зоряний годинник показував $3^h 57^{xb} 41^c$. Обчислити для цього моменту екваторіальні координати Сонця і поправку зоряного годинника.

Дано: $z_\odot = 39^\circ 33' S$; $S_\Gamma = 3^h 57^{xb} 41^c$; $\varphi = +59^\circ 46'$.

Розв'язок.

Згідно формули $z_B = \varphi - \delta$ схилення Сонця

$$\delta_\odot = \varphi - z_\odot = 59^\circ 46' - 39^\circ 33' = +20^\circ 13'.$$

За формулою $\sin \alpha_\odot = \frac{\operatorname{tg} \delta_\odot}{\operatorname{tg} \varepsilon} = \operatorname{tg} \delta_\odot \operatorname{ctg} \varepsilon$ знайдемо:

$$\sin \alpha_\odot = \operatorname{tg} \delta_\odot \operatorname{ctg} \varepsilon = \operatorname{tg} 20^\circ 13' \operatorname{ctg} 23^\circ 26' = +0,8490,$$

звідки пряме сходження Сонця $\alpha_\odot = 58^\circ 6', 2$, або, перевіривши в одиниці часу, $\alpha = 3^h 52^{xb} 25^c$.

Оскільки в справжній полудень зоряний час $S = \alpha_\odot = 3^h 52^{xb} 25^c$, а зоряний годинник позував $S_\Gamma = 3^h 57^{xb} 41^c$, то отримаємо таку поправку годинника:

$$u = S - S_\Gamma = \alpha_\odot - S_\Gamma = 3^h 52^{xb} 25^c - 3^h 57^{xb} 41^c = -5^{xb} 16^c.$$

Приклад 2. В момент верхньої кульмінації зорі α Дракона на зенітній відстані $9^{\circ}17' N$ зоряний годинник позував $7^h20^{m}38^s$, причому його поправка до зоряного гринвічського часу дорівнювала $+22^{m}16^s$. Екваторіальні координати α Дракона: пряме піднесення $14^h3^{m}2^s$ і схилення $+64^{\circ}37'$. Визначити географічні координати місця спостереження.

Дано: α Дракона, $\alpha = 14^h3^{m}2^s$, $\delta = +64^{\circ}37'$, $z_B = 9^{\circ}17' N$; зоряний годинник $S_T = 7^h20^{m}38^s$, $u = +22^{m}16^s$.

Розв'язок.

Знаходимо географічну широту:

$$\varphi = \delta - z_B = +64^{\circ}37' - 9^{\circ}17' = +55^{\circ}20'.$$

Зоряний час в місці спостереження $S = \alpha = 14^h3^{m}2^s$, а зоряний час в Грінвічі

$$S_0 = S_T + u = 7^h20^{m}38^s + 22^{m}16^s = 7^h42^{m}54^s.$$

Тоді знайдемо географічну довготу

$$\lambda = S - S_0 = 14^h03^{m}2^s - 7^h42^{m}54^s = 6^h20^{m}8^s,$$

або, перевівши в кутові одиниці, $\lambda = 95^{\circ}2'$.

Задачі для самостійного розв'язування

227. На широті $55^{\circ}45'20''$ в момент верхньої кульмінації виміряна зенітна відстань зірки $50^{\circ}0'0''$. Користуючись таблицею рефракції (додаток 4), визначити схилення зірки.

228. В обсерваторії ($\varphi = 55^{\circ}45'20''$) виміряна зенітна відстань зірки у верхній кульмінації $47^{\circ}59'48''$. Яке схилення зірки з врахуванням середньої рефракції?

229. Опівнічна висота нижнього краю Сонця за вимірюванням з криголама $14^{\circ}11'5''$. Схилення Сонця в цей день $+21^{\circ}19'34''$, кутовий радіус Сонця $15'47''$. Визначити, з врахуванням рефракції, широту, на якій знаходився криголам.

230. Зенітна відстань зірки в верхній кульмінації $24^{\circ}2'8''$, а в нижній кульмінації $53^{\circ}51'51''$. Знайти широту місця спостереження і схилення зірки, враховуючи рефракцію.

231. Штурман корабля визначив зенітну відстань центра Сонця опівночі – 80° . Де і в який день міг знаходитися корабель і на скільки кілометрів (приблизно) штурман

- помилково визначив би положення корабля по широті, якби він не врахував впливу рефракції?
232. У деякий момент була виміряна різниця азимутів двох зір, прямі сходження яких $8^{\text{г}}50^{\text{хв}}$ і $9^{\text{г}}46^{\text{хв}}$. Зменшиться чи збільшиться ця різниця, якщо врахувати вплив рефракції?
233. Спостереження на меридіані зірки β Малої Ведмедиці в її верхній та нижній кульмінації дали значення висот $55^{\circ}48'6''$ і $24^{\circ}58'56''$ відповідно. Визначити схилення зірки і широту місцевості з врахуванням рефракції.
234. Одержавши повідомлення про відкриття нової малої планети, астроном задався метою в той же вечір визначити її точні екваторіальні координати. Спостерігаючи її на меридіані, він отримав, що верхня кульмінація планети відбулася на висоті $37^{\circ}19'55''$ в $5^{\text{г}}18^{\text{хв}}14^{\text{с}}$ за зоряним годинником, поправка якого $-3^{\text{хв}}19^{\text{с}}$. За даних умов поправка на рефракцію була $1'3''$. Які α і δ планети? Широта обсерваторії $43^{\circ}19'1''$.
235. Визначити географічну широту місця спостереження і схилення зірки за вимірюваннями її зенітної відстані z або висоти h в обох кульмінаціях – верхній (в) і нижній (н): а) $z_{\text{в}} = 15^{\circ}6' \text{ N}$, $z_{\text{н}} = 68^{\circ}14' \text{ N}$; б) $z_{\text{в}} = 15^{\circ}6' \text{ S}$, $z_{\text{н}} = 68^{\circ}14' \text{ N}$; в) $h_{\text{в}} = 80^{\circ}40' \text{ пд.}$, $z_{\text{н}} = 72^{\circ}24' \text{ пн.}$; г) $h_{\text{в}} = 78^{\circ}8' \text{ пд.}$, $h_{\text{н}} = 17^{\circ}40' \text{ пд.}$
236. У місцевості з географічною широтою $\varphi = +49^{\circ}34'$ зірка α Гідри проходить верхню кульмінацію на висоті $+32^{\circ}$ над точкою півдня, а зірка β Малої Ведмедиці – на північ від зеніту на відстані $24^{\circ}48'$. Які схилення цих зір?
237. Яке схилення мають зірки, які у верхній кульмінації в деякому місті ($\varphi = -35^{\circ}20'$) знаходяться на зенітній відстані $63^{\circ}39'$ на північ від зеніту і на висоті $+58^{\circ}42'$ над точкою півдня?
238. Капелла проходить верхню кульмінацію на висоті $+82^{\circ}35'$ при азимуті 180° , а Альдебаран, схилення якого $+16^{\circ}25'$, – на зенітній відстані $22^{\circ}8'$ на південь від зеніту. Яке схилення Капелли?
239. Обчислити схилення зір δ Великої Ведмедиці і Фомальгаута, якщо різниця зенітних відстаней цих зір і Альтаіра у верхній кульмінації в деякому пункті ($\varphi =$

- +41°18') становить відповідно $-48^{\circ}35'$ і $+38^{\circ}38'$. Альтаір кульмінує на висоті $+57^{\circ}26'$ над точкою півдня.
240. Яке схилення у зір, які кульмінують на горизонті і в зеніті місцевості, географічна широта якої $+41^{\circ}42'$? Рефракцію біля горизонту прийняти $35'$.
241. Знайти пряме піднесення зір, в моменти верхньої кульмінації яких зоряний годинник показував $18^{\text{г}}25^{\text{хв}}32^{\text{с}}$ і $19^{\text{г}}50^{\text{хв}}40^{\text{с}}$, якщо при його показах $19^{\text{г}}20^{\text{хв}}16^{\text{с}}$ Альтаір з прямим піднесенням $19^{\text{г}}48^{\text{хв}}21^{\text{с}}$ перетнув небесний меридіан на південь від зеніту.
242. У момент верхньої кульмінації Сонця його пряме піднесення було $23^{\text{г}}48^{\text{хв}}9^{\text{с}}$, а зоряний годинник показував $23^{\text{г}}50^{\text{хв}}1^{\text{с}}$. За $46^{\text{хв}}48^{\text{с}}$ до цього небесний меридіан перетнула зірка β Пегаса, а при показах того ж годинника $0^{\text{г}}07^{\text{хв}}40^{\text{с}}$ настала верхня кульмінація зірки α Андромеди. Яке пряме піднесення у цих двох зір?
243. Марс кульмінував через $15^{\text{хв}}50^{\text{с}}$ за зоряним годинником після Бетельгейзе на висоті, що перевищує висоту цієї зірки в кульмінації на $16^{\circ}33'$. Пряме піднесення Бетельгейзе $5^{\text{г}}52^{\text{хв}}28^{\text{с}}$ і схилення $+7^{\circ}24'$. Які екваторіальні координати Марса і поблизу якої точки екліптики він перебував?
244. На широті $\varphi = +55^{\circ}45'$, коли зоряний годинник показував $1^{\text{г}}52^{\text{хв}}22^{\text{с}}$, Юпітер перетнув небесний меридіан на зенітній відстані $47^{\circ}38'$. В $2^{\text{г}}23^{\text{хв}}31^{\text{с}}$ за тим же годинником кульмінувала зірка α Овна, пряме піднесення якої $2^{\text{г}}4^{\text{хв}}21^{\text{с}}$. Які екваторіальні координати Юпітера?
245. У пункті з географічною широтою $+50^{\circ}32'$ полуденна висота Сонця 1 травня і 11 серпня дорівнювала $+54^{\circ}38'$, а 21 листопада і 21 січня – $+19^{\circ}29'$. Визначити екваторіальні координати Сонця в ці дні.
246. У справжній полудень Сонце пройшло в Одесі ($\varphi = +46^{\circ}29'$) на висоті $+65^{\circ}54'$, а за $13^{\text{хв}}44^{\text{с}}$ до цього Альдебаран перетнув небесний меридіан на зенітній відстані, що перевищує полуденну зенітну відстань Сонця на $5^{\circ}58'$. Визначити екваторіальні координати Сонця і зорі.

247. В $13^{\text{г}}6^{\text{хв}}41^{\text{с}}$ за декретним часом в пункті з $\lambda = 4^{\text{г}}37^{\text{хв}}11^{\text{с}}$ ($n = 5$) і $\varphi = +41^{\circ}18'$ зенітна відстань Сонця була $54^{\circ}18'$. За $45^{\text{хв}}45^{\text{с}}$ (за зоряним часом) до цього у верхній кульмінації перебувала Спіка, а через $51^{\text{хв}}39^{\text{с}}$ після неї – Арктур на висоті $+68^{\circ}1' \text{ S}$. Визначити екваторіальні координати Сонця і Арктура. Рівняння часу в цей день було $-16^{\text{хв}}8^{\text{с}}$.
248. Знайти географічну широту місцевості, в якій зірки β Персея ($\delta = +40^{\circ}46'$) і ϵ Великої Ведмедиці ($\delta = +56^{\circ}14'$) в моменти верхньої кульмінації знаходяться на однаковій зенітній відстані, але перша – на південь, а друга – на північ від зеніту.
249. У моменти верхньої кульмінації зірка α Гончих Псів із схиленням $+38^{\circ}35'$ проходить в зеніті, зірка β Оріона – на $46^{\circ}50'$ південніше, а зірка α Персея – на $11^{\circ}6'$ північніше. На якій географічній паралелі проведені вимірювання і які схилення зазначених зір?
250. У момент верхньої кульмінації Сонця середній хронометр показав $10^{\text{г}}28^{\text{хв}}30^{\text{с}}$, а при його показах $14^{\text{г}}48^{\text{хв}}52^{\text{с}}$ був прийнятий з Гринвіча 12-годинний радіосигнал точного часу. Знайти географічну довготу місця спостереження, якщо рівняння часу в цей день було $+6^{\text{хв}}8^{\text{с}}$.
251. У момент верхньої кульмінації деякої зірки на зенітній відстані $2^{\circ}14'$ на північ від зеніту зоряний час Гринвіча $23^{\text{г}}2^{\text{хв}}39^{\text{с}}$. Екваторіальні координати зорі $\alpha = 17^{\text{г}}38^{\text{хв}}3^{\text{с}}$ і $\delta = +46^{\circ}2'$. Визначити географічні координати місця спостереження.
252. В момент показів зоряного хронометра $18^{\text{г}}7^{\text{хв}}27^{\text{с}}$ експедиція прийняла радіосигнал точного часу, переданий з Гринвіча в $18^{\text{г}}$ за зоряним гринвіцьким часом. У момент верхньої кульмінації зірки γ Кассіопеї на зенітній відстані $9^{\circ}8'$ на південь від зеніту покази того ж хронометра були $19^{\text{г}}17^{\text{хв}}2^{\text{с}}$. Екваторіальні координати γ Кассіопеї $\alpha = 53^{\text{хв}}40^{\text{с}}$ і $\delta = +60^{\circ}27'$. Знайти географічні координати експедиції.
253. У справжній полудень покази середнього хронометра експедиції були $11^{\text{г}}41^{\text{хв}}37^{\text{с}}$, а в момент прийому 12-годинного радіосигналу точного часу той же хронометр

показав $19^{\text{г}}14^{\text{хв}}36^{\text{с}}$. Виміряна зенітна відстань зірки α Лебедя ($\delta = +45^{\circ}6'$) у верхній кульмінації $3^{\circ}26'$ на північ від зеніту. Визначити географічні координати експедиції, якщо в день проведення спостережень рівняння часу – $5^{\text{г}}17^{\text{с}}$.

254. У справжній полудень штурман океанського лайнера виміряв висоту Сонця, що виявилася рівною $+75^{\circ}41'$ при азимуті 0° . У цей момент середній хронометр з поправкою $-16^{\text{хв}},2$ показував $14^{\text{г}}12^{\text{хв}},9$ гринвічського часу. Схилення Сонця $+23^{\circ}19'$, а рівняння часу $+2^{\text{хв}}55^{\text{с}}$. Які географічні координати лайнера та в які приблизно дні року він в цей час знаходився?

§5. Перетворення небесних координат. Схід і захід світил

Зв'язок між горизонтальними і екваторіальними небесними координатами здійснюється через *паралактичний трикутник* PZM , вершинами якого є полюс світу P , zenit Z і світило M , а сторонами – дуга PZ небесного меридіана, дуга ZM кола висоти світила і дуга PM його кола схилень. Очевидно, що $PZ = 90^\circ - \varphi$, $ZM = z = 90^\circ - h$ і $PM = 90^\circ - \delta$, де φ – географічна широта місця спостереження, z – zenitna відстань, h – висота і δ – схилення світила.

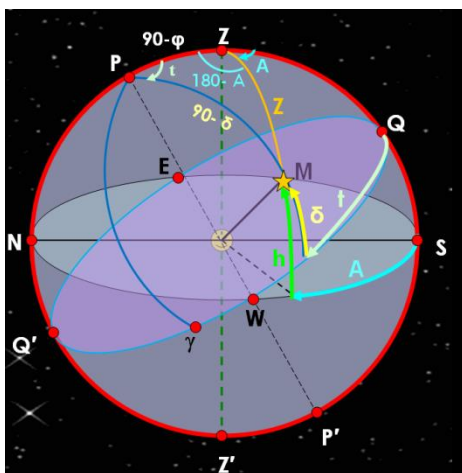


Рис. 11. Паралактичний трикутник

У паралактичному трикутнику кут при zenitі дорівнює $180^\circ - A$, де A – азимут світила, а кут при полюсі світу – годинному кутові t того ж світила. Тоді горизонтальні координати обчислюються за формулами

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

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

$$\sin z \sin A = \cos \delta \sin t$$

а екваторіальні координати – за формулами

$$\sin \delta = \sin \varphi \cos z - \cos \varphi \sin z \cos A$$

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

$$\cos \delta \sin t = \sin z \sin A$$

причому $t = S - \alpha$, де α – пряме сходження світила і S – зоряний час.

У моменти сходу і заходу світила його $z = 90^\circ$, і $\cos z = 0$, тому

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

звідки можна знайти годинний кут t , який для сходу треба брати із знаком мінус і для заходу із знаком плюс (це рівняння має два корені). У випадку Сонця годинні кути t_\odot дають моменти справжнього сонячного часу $T_\odot = t_\odot + 12^r$, які за формулою $T_\lambda = T_\odot + \eta$ переводяться в моменти середнього часу, а потім – в необхідну систему відліку.

З формули перетворення горизонтальних координат в екваторіальні при $z = 90^\circ$ отримуємо

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

яка дає азимути точок сходу і заходу.

Знайдені значення годинного кута і азимута в межах від 180° до 360° відповідають сходу світила, а в межах від 0° до 180° – його заходу.

Рефракція піднімає світило над горизонтом. Оскільки біля горизонту рефракція дорівнює $35'$, то у момент видимого сходу і заходу світила його справжня зенітна відстань дорівнює не 90° , а $90^\circ 35'$. Відповідно до цього формули перетворень ускладнюються.

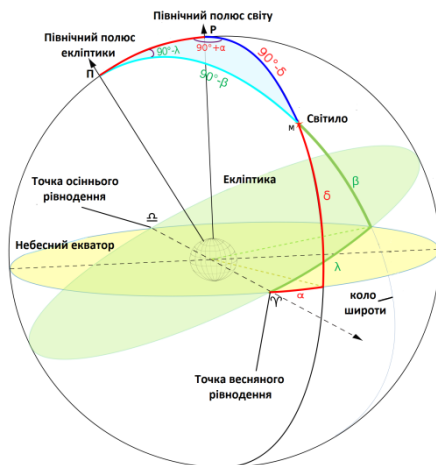


Рис. 12. Астрономічний трикутник

Для Місяця і Сонця моментом сходу і заходу вважається

момент сходу і заходу їх верхнього краю. Оскільки кутовий радіус Місяця і Сонця дорівнює $16'$, то в ці моменти зенітна відстань центру цих світил (до яких і відноситься значення δ , що дається в астрономічному календарі) дорівнює $90^\circ 35' + 16' = 90^\circ 51'$ (з врахуванням рефракції).

Сферичний трикутник з вершинами в полюсі світу P , полюсі екліптики Π і світілі M називається *астрономічним трикутником* (рис. 12).

Приклади розв'язування задач

Приклад 1. В якому напрямку був встановлений телескоп з фотокамерою для фотографування сонячного затемнення, якщо в точці з географічними координатами $\lambda = 2^\circ 58^{\text{XB}}, 0$ і $\varphi = +40^\circ 14'$ затемнення настало в $15^\text{Г} 29^{\text{XB}}, 8$ за часом, який відрізняється від часу деякого міста на $+1^\text{Г}$? В цей час екваторіальні координати Сонця: пряме піднесення $\alpha = 2^\text{Г} 27^{\text{XB}}, 5$ і схилення $\delta = +14^\circ 35'$. В середню гринвіцьку північ зоряний час в цей день $s_0 = 14^\text{Г} 28^{\text{XB}} 19^\text{с}$.

Дано: точка спостереження, $\lambda = 2^\circ 58^{\text{XB}}, 0$, $\varphi = +40^\circ 14'$, $T = 15^\text{Г} 29^{\text{XB}}, 8$, $T - T_\text{м} = 1^\text{Г}$; $s_0 = 14^\text{Г} 28^{\text{XB}} 19^\text{с} = 14^\text{Г} 28^{\text{XB}}, 3$; Сонце, $\alpha = 2^\text{Г} 27^{\text{XB}}, 5$, $\delta = +14^\circ 35'$.

Розв'язок.

Під час затемнення в деякому місті час

$$T_\text{м} = T - 1^\text{Г} = 14^\text{Г} 29^{\text{XB}}, 8.$$

З гринвіцької півночі пройшов інтервал часу $\Delta T = T_0 = 11^\text{Г} 29^{\text{XB}}, 8$, який переводимо в інтервал зоряного часу $\Delta S = 11^\text{Г} 31^{\text{XB}}, 7$, і тоді в момент T_0 , за формулою $S_0 = s_0 + \Delta S$, зоряний час в Гринвічі

$S_0 = s_0 + \Delta S = 14^\text{Г} 28^{\text{XB}}, 3 + 11^\text{Г} 31^{\text{XB}}, 7 = 25^\text{Г} 60^{\text{XB}} = 2^\text{Г} 0^{\text{XB}}, 0$, а в заданій точці, за формулою $S_0 = s_0 + \lambda$, зоряний час

$$S_0 = s_0 + \lambda = 2^\text{Г} 0^{\text{XB}}, 0 + 2^\text{Г} 58^{\text{XB}}, 0 = 4^\text{Г} 58^{\text{XB}}, 0.$$

В свою чергу годинний кут Сонця

$$t = S - \alpha = 4^\text{Г} 58^{\text{XB}}, 0 - 2^\text{Г} 27^{\text{XB}}, 5 = 2^\text{Г} 30^{\text{XB}}, 5,$$

або перевівши в кутові величини:

$$t = 37^\circ 37', 5 \approx 37^\circ 38'.$$

Використовуючи таблиці тригонометричних функцій знаходимо:

$$\begin{aligned}\sin \varphi &= \sin 40^{\circ} 14' = +0,6459, \\ \cos \varphi &= \cos 40^{\circ} 14' = +0,7634; \\ \sin \delta &= \sin 14^{\circ} 35' = +0,2518, \\ \cos \delta &= \cos 14^{\circ} 35' = +0,9678; \\ \sin t &= \sin 37^{\circ} 38' = +0,6106, \\ \cos t &= \cos 37^{\circ} 38' = +0,7919.\end{aligned}$$

З формули

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

отримаємо:

$$\cos z = 0,6459 \cdot 0,2518 + 0,7634 \cdot 0,9678 \cdot 0,7919 = +0,7477$$

Отже, $z = 41^{\circ} 36'$ і $\sin z = +0,6640$.

Знаходимо азимут:

$$\sin A = \frac{\sin \delta}{\sin z} \cdot \sin t = \frac{0,2518}{0,6640} \cdot 0,6106 = +0,88997,$$

звідки отримуємо два значення:

$$A = 62^{\circ} 52' \text{ і } A = 180^{\circ} - 62^{\circ} 52' = 117^{\circ} 08'.$$

При $\delta < \varphi$ значення A і t не дуже відрізняються між собою, а тому $A = 62^{\circ} 52'$. Відповідно телескоп було направлено в точку неба з горизонтальними координатами $A = 62^{\circ} 52'$ і $z = 41^{\circ} 36'$ (або $h = +48^{\circ} 24'$).

Приклад 2. Визначити азимути точок і моменти заходу і сходу Сонця, а також тривалість дня і ночі 21 червня в місцевості з географічними координатами $\lambda = 4^{\circ} 28' \text{хв}$, 4 і $\varphi = +59^{\circ} 30'$, яка знаходиться в п'ятому годинному поясі, якщо в полудень цього дня схилення Сонця $\delta = +23^{\circ} 26'$, а рівняння часу $\eta = +1^{\text{хв}} 35^{\text{с}}$.

Дано: Сонце, $\delta = +23^{\circ} 26'$; $\eta = +1^{\text{хв}} 35^{\text{с}} = +1^{\text{хв}}, 6$; $\lambda = 4^{\circ} 28' \text{хв}$, 4 ; $\varphi = +59^{\circ} 30'$; $n = 5$.

Розв'язок.

Враховуючи середню рефракцію біля горизонту $\rho = 35'$ і кутовий радіус сонячного диска $r = 16'$, враховуємо, що в момент сходу і заходу Сонця центр сонячного диска знаходиться під горизонтом на зенітній відстані

$$z = 90^{\circ} + \rho + r = 90^{\circ} 51'.$$

Тоді

$$\sin z = +0,9999; \cos z = -0,0148;$$

$$\sin \delta = +0,3979; \cos \delta = +0,9174;$$

$$\sin \varphi = +0,8616; \cos \varphi = +0,5075.$$

Шукаємо t :

$$\cos t = \frac{\cos z - \sin \varphi \cdot \sin \delta}{\cos \varphi \cdot \cos \delta} = \frac{-0,0148 - 0,8616 \cdot 0,3979}{0,5076 \cdot 0,9174} = -0,76804.$$

Звідси

$$t = \pm(180^\circ - 39^\circ 49', 3) = \pm 140^\circ 10', 7 \text{ і } \sin t = \pm 0,6404.$$

Отже, в момент сходу Сонця його годинний кут

$$t_1 = -140^\circ 10', 7 = -9^{\text{г}} 20^{\text{хв}}, 7,$$

а в момент заходу

$$t_2 = +140^\circ 10', 7 = +9^{\text{г}} 20^{\text{хв}}, 7.$$

За справжнім сонячним часом Сонце сходить в

$$T_{\odot 1} = 12^{\text{г}} + t_1 = 12^{\text{г}} - 9^{\text{г}} 20^{\text{хв}}, 7 = 2^{\text{г}} 39^{\text{хв}}, 3$$

і заходить в

$$T_{\odot 2} = 12^{\text{г}} + t_2 = 12^{\text{г}} + 9^{\text{г}} 20^{\text{хв}}, 7 = 21^{\text{г}} 20^{\text{хв}}, 7,$$

що відповідає моментам за середнім часом

$$T_{\lambda 1} = T_{\odot 1} + \eta = 2^{\text{г}} 39^{\text{хв}}, 3 + 1^{\text{хв}}, 6 = 2^{\text{г}} 41^{\text{хв}},$$

$$T_{\lambda 2} = T_{\odot 2} + \eta = 21^{\text{г}} 20^{\text{хв}}, 7 + 1^{\text{хв}}, 6 = 21^{\text{г}} 22^{\text{хв}}.$$

Ті ж моменти за поясним часом:

схід

$$T_{n1} = T_{\lambda 1} - \lambda + n = 2^{\text{г}} 41^{\text{хв}} - 4^{\text{г}} 28^{\text{м}} + 5^{\text{г}} = 3^{\text{г}} 13^{\text{хв}},$$

захід

$$T_{n2} = T_{\lambda 2} - \lambda + n = 21^{\text{г}} 22^{\text{хв}} - 4^{\text{г}} 28^{\text{м}} + 5^{\text{г}} = 21^{\text{г}} 54^{\text{хв}},$$

а за декретним часом:

$$\text{схід } T_{d1} = 4^{\text{г}} 13^{\text{хв}} \text{ і захід } T_{d2} = 22^{\text{г}} 54^{\text{хв}}.$$

Тривалість дня

$$\tau = T_{d2} - T_{d1} = 22^{\text{г}} 54^{\text{хв}} - 4^{\text{г}} 13^{\text{хв}} = 18^{\text{г}} 41^{\text{хв}}.$$

В момент нижньої кульмінації висота Сонця

$$h_n = \delta - (90^\circ - \varphi) = +23^\circ 26' - (90^\circ - 59^\circ 30') = -7^\circ 4',$$

таким чином замість звичайної триває біла ніч.

Азимути точок сходу і заходу Сонця обчислюють наступним чином:

$$\sin A = \frac{\sin \delta}{\sin z} \cdot \sin t = \pm \frac{0,9174}{0,9999} \cdot 0,6404 = \pm 0,5876,$$

що дає

$$A = \pm(180^\circ - 36^\circ) = \pm 144^\circ, 0,$$

так як азимути і годинні кути Сонця знаходяться в одному квадранті.

Відповідно, Сонце сходить в точці справжнього горизонту з азимутом $A_1 = -144^\circ, 0 = 216^\circ, 0$ і заходить в точці з азимутом $A_2 = +144^\circ, 0$, які розміщені на відстані 36° по обидві сторони від точки півночі.

Задачі для самостійного розв'язування

255. Виразити формулою кутову відстань між двома точками на сфері, координати яких задані в екваторіальній системі.
256. Визначити кутову відстань між зірками α і β Великої Ведмедиці, координати яких $\alpha_1 = 10^h 59^{xb}$, $\delta_1 = +62^\circ 10'$, $\alpha_2 = 10^h 57^{xb}$, $\delta_2 = +56^\circ 47'$.
257. Початок і кінець шляху метеора по зоряному небу знаходяться від північного полюса світу на 90° і на $136^\circ 19' 0''$, а кут між колами схилень, що проходять через ці точки, дорівнює $62^\circ 20' 42''$. Визначити довжину шляху метеора в градусах і кути, під якими його шлях перетнув два згаданих кола.
258. Вивести три формули перетворення екваторіальних координат α і δ в екліптичні λ і β . Застосуйте формули до координат Сонця. *Вказівка:* побудувати креслення; нахил екватора до екліптики позначити через ϵ .
259. Вивести формули перетворення екліптичних координат λ і β в екваторіальні α і δ , позначивши нахил екліптики до екватора через ϵ .
260. Знайти зенітну відстань і азимут α Дракона ($\alpha = 14^h 1^{xb} 57^c$, $\delta = 64^\circ 48', 8$) на широті $59^\circ 56', 6$ в $16^h 24^{xb} 33^c$ зоряного часу.
261. Знайти зенітну відстань і азимут α Лева ($\alpha = 10^h 4^{xb}, 7$, $\delta = +12^\circ 18'$) на широті $55^\circ 45'$ для моменту зоряного часу $5^h 23^{xb}, 8$.
262. Знайти зенітну відстань і азимут Арктура на широті $51^\circ 32'$ в $13^h 34^{xb} 54^c$ зоряного часу ($\alpha = 14^h 11^{xb} 58^c$, $\delta = +19^\circ 36' 6''$).
263. Обчислити α і δ зірки, яка в момент зоряного часу $11^h 11^{xb} 36^c$ мала координати $z = 49^\circ 15' 10''$ і $A = 298^\circ 28' 50''$.
264. Визначити горизонтальні координати зір ϵ Великої Ведмедиці ($\alpha = 12^h 51^{xb} 50^c$, $\delta = +56^\circ 14'$) і Антареса ($\alpha =$

- 16^h26^m20^s, $\delta = -26^{\circ}19'$) в 14^h10^m за зоряним часом Євпаторії ($\phi = +45^{\circ}12'$).
265. Знайти горизонтальні координати Гемі ($\alpha = 15^{\text{h}}32^{\text{m}}34^{\text{s}}$, $\delta = +26^{\circ}53'$) і Спіки ($\alpha = -13^{\text{h}}22^{\text{m}}33^{\text{s}}$, $\delta = -10^{\circ}54'$) 15 квітня ($s_0 = 13^{\text{h}}30^{\text{m}}8^{\text{s}}$) і 20 серпня ($s_0 = 21^{\text{h}}50^{\text{m}}50^{\text{s}}$) в 21^h30^m за декретним часом в пункті з географічними координатами $\lambda = 6^{\text{h}}50^{\text{m}}$ ($n = 7$) і $\phi = +71^{\circ}58'$?
266. В область неба з якими горизонтальними координатами необхідно направити телескоп, встановлений у пункті з географічними координатами $\lambda = 2^{\text{h}}59^{\text{m}}2^{\text{s}}$ ($n = 3$) та $\phi = +41^{\circ}42'$, щоб 4 травня ($s_0 = 11^{\text{h}}45^{\text{m}}2^{\text{s}}$) в 22^h40^m за поясным часом побачити Уран ($\alpha = 13^{\text{h}}52^{\text{m}}1^{\text{s}}$; $\delta = -10^{\circ}55'$) і Нептун ($\alpha = 16^{\text{h}}39^{\text{m}}3^{\text{s}}$; $\delta = -20^{\circ}32'$)?
267. Екваторіальні координати комети $\alpha = 81^{\circ}48'.7$, $\delta = +68^{\circ}28'$. Які її екліптичні координати λ і β ?
268. Знайти широту β і довготу λ зірки α Оріона, екваторіальні координати якої $\alpha = 5^{\text{h}}49^{\text{m}}$, $\delta = +7^{\circ}23'$.
269. 9 травня пряме сходження Сонця було 45^h30. Знаючи нахил екліптики до екватора, визначити схилення Сонця.
270. Довгота Сонця дорівнює 71^h11'.7. Які екваторіальні координати Сонця?
271. Довгота Сонця дорівнює 43^h.6. Знайти його схилення і пряме сходження. Те ж для моменту, коли довгота Сонця 143^h.6 (15 серпня).
272. Визначити довготу Сонця 2 січня і 5 липня, якщо в ці дні δ і α Сонця за астрономічним календарем $-23^{\circ}.0$, 18^h48^m і $+22^{\circ}.8$, 6^h55^m.
273. Точка спостереження лежить на широті $\phi = 52^{\circ}30'$ північної широти. Через 3^h40^m після своєї верхньої кульмінації Сонце знаходиться на висоті $h = 33^{\circ}8'$. Який азимут A і схилення δ Сонця у цей день в момент спостереження?
274. Через скільки часу після своєї верхньої кульмінації Сонце знаходиться на висоті $h = 35^{\circ}$ 13 червня в Києві ($\phi = 50^{\circ}27'$), якщо схилення Сонця $\delta = +23^{\circ}12'$?
275. З формули перетворення екваторіальних координат α і δ в горизонтальні ($\cos z = \sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \cos \alpha$)

отримати формулу для визначення зенітної відстані світил у верхній кульмінації.

276. У точці північної півкулі, широту якої треба визначити, вертикально встановлено стрижень довжиною 2,5 м. Через 3^г40^{хв} зоряного часу після верхньої кульмінації Сонця він відкидає на горизонтальну площину тінь довжиною 3,831 м. Яка географічна широта місця, якщо схилення Сонця в день спостереження $\delta = +15^\circ 20'$?
277. Знайти широту місцевості, знаючи схилення зірки і її годинні кути в моменти часу, коли азимути зір відрізняються на 180° .
278. Довести, що протягом доби граничні значення азимута зірки (на схід чи захід від меридіана), що має схилення $\delta > \varphi$, визначаються формулою $\sin A = \pm \frac{\cos \delta}{\cos \varphi}$.
279. На північній широті 45° найбільший азимут зірки дорівнює 225° . Довести, що схилення цієї зірки дорівнює $+60^\circ$.
280. Довести, що екваторіальні координати Сонця завжди пов'язані співвідношенням $\operatorname{tg} \delta = \operatorname{tg} \varepsilon \sin \alpha$, де ε – нахил екліптики до екватора.
281. На широті $+55^\circ 45' 18''$ 15 травня зенітна відстань центру Сонця зі всіма поправками дорівнювала $65^\circ 13' 20''$, в цей момент середній хронометр показував $16^{\text{г}} 51^{\text{хв}} 7^{\text{с}}$, схилення центру Сонця $+18^\circ 50' 33''$. Визначити поправку хронометра відносно середнього місцевого часу, користуючись формулою $\cos z = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos t$. Рівняння часу було $-3^{\text{хв}} 47^{\text{с}}, 5$.
282. Схилення світила 0° . Визначити його азимути в моменти сходу і заходу.
283. Якщо зірка зійшла в точці північного сходу, то в якій точці горизонту вона зайде? Які азимути точок сходу і заходу?
284. Коли 21 вересня сходить комета, пряме сходження якої 4° , а схилення 0° ?
285. Який азимут Сонця в момент його сходу на земному екваторі 22 березня? 22 червня? 23 вересня? 22 грудня?
286. На яких широтах 13 листопада Сонце не сходить, якщо в цей день його полярна відстань 108° ?

287. Які приблизно годинний кут і азимут точок сходу і заходу зірки δ Оріона на широтах $68^{\circ}58'$ і $41^{\circ}20'$, якщо схилення зірки $-0^{\circ}2'$?
288. Визначити без врахування рефракції зоряний час і азимут сходу і заходу зірки ϵ Близнюків ($\alpha = 6^{\text{h}}39^{\text{m}}7^{\text{s}}$, $\delta = +25^{\circ}12'$) на широті $55^{\circ}45'$.
289. Визначити для широти $59^{\circ}46',3$ зоряний час і азимут точки сходу Веги ($\alpha = 18^{\text{h}}34^{\text{m}}36^{\text{s}}$, $\delta = +38^{\circ}43',6$).
290. Обчислити момент сходу Сиріуса ($\alpha = 6^{\text{h}}42^{\text{m}}$, $\delta = -16^{\circ}37'$) на широті $55^{\circ}45' 22$ жовтня за поясным часом (без врахування рефракції).
291. Обчислити зоряний і середній місцевий час сходу і заходу зірки α Малого Пса ($\alpha = 7^{\text{h}}34^{\text{m}}29^{\text{s}}$, $\delta = 5^{\circ}27',5$) на широті $59^{\circ}56',6$ 3 квітня (без врахування рефракції).
292. Обчислити (без врахування рефракції) годинний кут і азимут точок сходу і заходу на широті $59^{\circ}46',3$ зірки Регул ($\alpha = 10^{\text{h}}4^{\text{m}}42^{\text{s}}$, $\delta = +12^{\circ}18',3$). Скільки часу зірка залишається над горизонтом? Коли за середнім сонячним часом відбудеться її схід і захід 20 квітня, якщо зоряний час опівночі цього числа $13^{\text{h}}48^{\text{m}}8^{\text{s}}$?
293. Зірка знаходиться 16 годин під горизонтом місцевості, широта якої $55^{\circ}45'$ і 8 годин над горизонтом. Визначити приблизно азимут точки її заходу і її схилення.
294. Азимут зірки в момент її заходу дорівнює 30° . Обчислити її схилення, скільки часу вона перебуває над горизонтом і її висоту в кульмінації для спостерігача, що знаходиться на широті $51^{\circ},7$.
295. В які моменти часу сходить, кульмінує і заходить та скільки часу знаходиться над горизонтом точка літнього сонцестояння 22 березня ($s_0 = 11^{\text{h}}55^{\text{m}}31^{\text{s}}$) і 22 червня ($s_0 = 17^{\text{h}}58^{\text{m}}14^{\text{s}}$) на центральному меридіані другого годинного поясу в місцях з географічною широтою $\varphi = +37^{\circ}45'$ і $\varphi = 68^{\circ}20'$? Моменти виразити в зоряному та декретному часі.
296. Обчислити азимут і моменти сходу, верхньої кульмінації, заходу і нижньої кульмінації Кастора ($\alpha = 7^{\text{h}}31^{\text{m}}25^{\text{s}}$, $\delta = +32^{\circ}$) і Антареса ($\alpha = 16^{\text{h}}26^{\text{m}}20^{\text{s}}$, $\delta = -26^{\circ}19'$) 15 квітня ($s_0 = 13^{\text{h}}30^{\text{m}}8^{\text{s}}$) і 15 жовтня ($s_0 = 1^{\text{h}}31^{\text{m}}37^{\text{s}}$) в місцях земної поверхні з географічними координатами λ

$$= 3^{\text{г}}53^{\text{хв}}33^{\text{с}} \ (n = 4), \ \varphi = +37^{\circ}45' \ \text{і} \ \lambda = 2^{\text{г}}12^{\text{хв}}15^{\text{с}} \ (n = 2), \ \varphi = +68^{\circ}59'.$$

297. Обчислити азимути і моменти сходу, верхньої кульмінації і заходу Сонця, його полуденну і опівнічну висоту, а також тривалість дня в дні весняного рівнодення і сонцестоянь в пунктах з географічними координатами $\lambda = 2^{\text{г}}36^{\text{хв}}$, 3 ($n = 2$), $\varphi = +59^{\circ}57'$ і $\lambda = 5^{\text{г}}53^{\text{хв}}$, 9 ($n = 6$), $\varphi = +69^{\circ}18'$. Рівняння часу в ці дні відповідно $+7^{\text{хв}}23^{\text{с}}$, $+1^{\text{хв}}35^{\text{с}}$ і $-2^{\text{хв}}08^{\text{с}}$.

298. В які моменти часу 30 липня ($s_0 = 20^{\text{г}}28^{\text{хв}}3^{\text{с}}$) у пункті з $\lambda = 2^{\text{г}}58^{\text{хв}}$ ($n = 3$) і $\varphi = +40^{\circ}14'$ нижче перераховані зірки мають горизонтальні координати A і z :

Зоря	α	δ	A	z
Сиріус	$6^{\text{г}}42^{\text{хв}}57^{\text{с}}$	$-16^{\circ}39'$	$-40^{\circ}10'$	$67^{\circ}8'$
Регул	$10^{\text{г}}5^{\text{хв}}43^{\text{с}}$	$+12^{\circ}13'$	$+65^{\circ}5'$	$46^{\circ}28'$
Капелла	$5^{\text{г}}13^{\text{хв}}$	$+45^{\circ}58'$	$+152^{\circ}55'$	$86^{\circ}25'$

299. У пункті з географічними координатами $\lambda = 4^{\text{г}}37^{\text{хв}}11^{\text{с}}$ ($n = 5$) і $\varphi = +41^{\circ}18'$ 5 серпня ($s_0 = 20^{\text{г}}51^{\text{хв}}42^{\text{с}}$) були виміряні горизонтальні координати двох зір: в $21^{\text{г}}10^{\text{хв}}$ у першій зірки $A = -8^{\circ}33'$ і $z = 49^{\circ}51'$, а в $22^{\text{г}}50^{\text{хв}}$ у другій зірки $A = 46^{\circ}07'$ і $z = 38^{\circ}24'$. Обчислити екваторіальні координати цих зір.

300. 21 червня схилення Сонця $\delta = 23^{\circ}26'$. На якій широті тривалість дня 21 червня дорівнює лише трьом годинам?

301. Обчислити тривалість дня і середній місцевий час сходу і заходу верхнього краю Сонця для пункту з координатами $\varphi = 47^{\circ}13'$, $\lambda = 2^{\text{г}}38^{\text{хв}}$, 9 24 травня, якщо в цей час схилення Сонця $\delta = 20^{\circ}37',2$. Врахувати вплив рефракції.

302. Обчислити тривалість найдовшого і найкоротшого дня на широтах $\varphi = 59^{\circ}57'$, $\varphi = 55^{\circ}45'$ та $\varphi = 38^{\circ}35'$ (без врахування рефракції)?

303. 4 травня схилення Сонця $+15^{\circ}0',7$. Спостереження показали, що в цей день Сонце зайшло через $7^{\text{г}}25^{\text{хв}}$ зоряного часу після своєї верхньої кульмінації. Яка географічна широта місця спостереження?

304. Коли Сонце опускається під горизонт на 18° , настає астрономічна ніч (закінчуються астрономічні сутінки).

Через скільки часу (приблизно) після заходу Сонця настає ніч під час рівнодення на земному екваторі? на широті 45° ? на широті 60° ?

305. Обчислити (з врахуванням рефракції) тривалість астрономічних сутінків на широті $59^\circ 56' 6''$ 25 березня, коли схилення Сонця $+2^\circ 1' 9''$.
306. Знайти північну широту, на якій завдяки впливу рефракції день подовжується на 16 хвилин при схиленні Сонця 0° .
307. Довести, що на широті 45° проміжок часу від того моменту, коли азимут зірки дорівнює -90° , до моменту її заходу є величина, постійна для всіх зір.
308. Взявши формулу, що визначає косинус зенітної відстані за відомими δ , t і φ , вивести формулу, що дає збільшення годинного кута Сонця в залежності від збільшення його зенітної відстані, при сході або заході Сонця.

II. Основи теоретичної астрономії і небесної механіки

§6. Емпіричні закони Кеплера і конфігурації планет

Планети обертаються навколо Сонця по еліптичних орбітах, в одному, загальному фокусі яких знаходиться Сонце.

Еліпс визначається як ГМТ, для яких сума відстаней від двох заданих точок (фокусів F_1 і F_2) є постійною величиною, яка дорівнює довжині великої осі (рис. 13). Лінія, яка з'єднає будь-яку точку еліпса з одним із його фокусів, називається радіус-вектором цієї точки.

Ступінь відмінності еліпса від кола характеризує його ексцентриситет, який дорівнює відношенню відстаней між фокусами до великої осі:

$$e = F_1F_2 / A_1A_2.$$

Ексцентриситет дорівнює відношенню відстані фокуса від центра до довжини великої півосі

$$e = c/a.$$

При співпаданні фокусів ($e = 0$) еліпс перетворюється в коло.

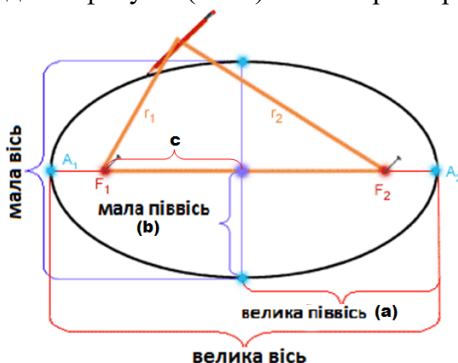


Рис. 13. Основні параметри еліпса

У першому наближенні можна вважати, що орбіти великих планет лежать в одній площині.

Велика піввісь a орбіти визначає розміри, а ексцентриситет e – ступінь витягнутості орбіти. Радіус-вектор r планети визначається рівнянням еліпса (рис. 14)

$$r = \frac{a(1 - e^2)}{1 + e \cos T}$$

і змінюється в межах від перигелійної відстані

$$q = a(1 - e),$$

коли справжня аномалія – 0° , до афелійної відстані

$$Q = a(1 + e),$$

коли справжня аномалія – 180° .

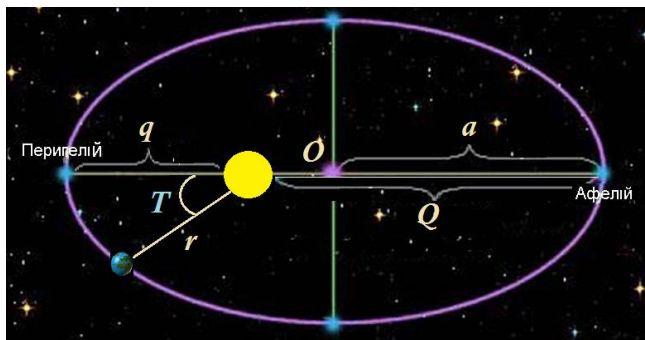
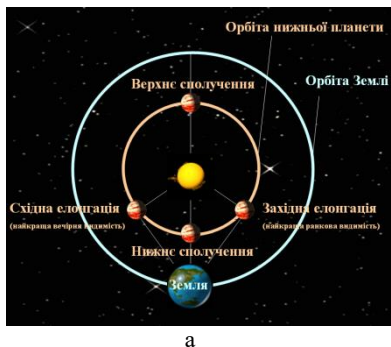


Рис. 14. Еліптична орбіта

Середньою відстанню планети від Сонця є велика піввісь її орбіти

$$a = \frac{Q + q}{2}.$$



а



б

Рис. 15. Конфігурації нижньої (а) та верхньої (б) планет

Орбіти планет Меркурія і Венери лежать всередині орбіти Землі, це – *нижні* планети. Інші планети – *верхні* – знаходяться далі від Сонця ніж Земля. Меркурій ніколи не віддаляється від Сонця далі ніж на 27° , а Венера – на 48° . Тому ці планети видно то як ранішні, то як вечірні зірки – на сході перед сходом

Сонця або на заході після його заходу. Різні характерні взаємні розташування планет відносно Землі і Сонця (*планетні конфігурації*) показані на рисунку 15.

Відстані між планетами і відстані планет від Сонця зазвичай виражаються в астрономічних одиницях (а.о.), але інколи і в кілометрах з розрахунку, що $1 \text{ а.о.} = 149,6 \cdot 10^6 \text{ км}$.

Зоряні, або сидеричні, періоди обертання T_1 і T_2 двох планет пов'язані з їх середніми відстанями a_1 і a_2 від Сонця третім законом Кеплера (рис. 16)

$$\frac{T_2^2}{T_1^2} = \frac{a_2^3}{a_1^3}.$$

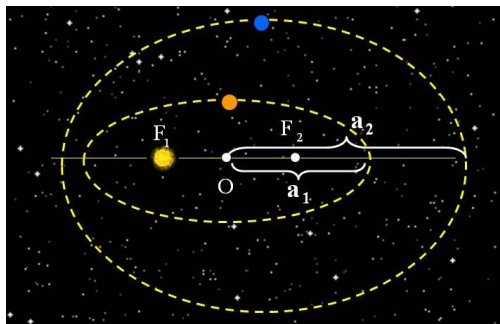


Рис. 16. Третій закон Кеплера

Якщо період задається в роках і a – в астрономічних одиницях, то, приймаючи для Землі $T_{\oplus} = 1$ рік і $a_{\oplus} = 1$ а.о., отримаємо для будь-якої планети

$$T^2 = a^3.$$

Середня орбітальна, або колова швидкість планети

$$v_a = \frac{2\pi a}{T}$$

завжди виражається в км/с. Оскільки a задається в астрономічних одиницях і T – в роках, то

$$v_a = 29,78 \frac{a}{T}.$$

Замінивши T ($T = \sqrt{a^3}$), отримаємо:

$$v_a = \frac{29,78}{\sqrt{a}} \text{ (км/с)}.$$

Середня тривалість синодичного періоду обертання S планети пов'язана з сидеричним періодом T рівнянням синодичного руху:

$$\text{для нижніх планет} - \frac{1}{S} = \frac{1}{T} - \frac{1}{T_{\oplus}},$$

$$\text{для верхніх планет} - \frac{1}{S} = \frac{1}{T_{\oplus}} - \frac{1}{T},$$

де T_{\oplus} – сидеричний період обертання Землі, який дорівнює 1 зоряному року.

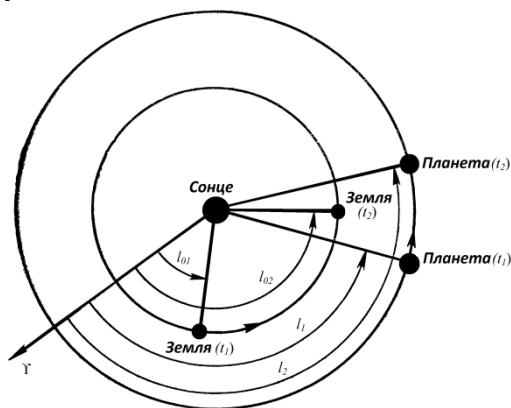


Рис. 17. Геліоцентрична довгота

Середній синодичний період обертання дозволяє обчислити приблизну дату t_2 чергового настання певної конфігурації планети за відомою датою t_1 такої ж конфігурації, оскільки

$$t_2 \approx t_1 + S.$$

Якщо з Сонця провести пряму (рис. 17) у напрямку точки весняного рівнодення, то кут між цією прямою і напрямом від Сонця до планети, який відраховують проти годинникової стрілки, називається *геліоцентричною довготою планети*.

Якщо позначити через l_0 геліоцентричну довготу Землі, а через l – геліоцентричну довготу планети, то для внутрішньої планети (рис. 15)

у нижньому сполученні $l - l_0 = 0^\circ$,

у верхньому сполученні $l - l_0 = 180^\circ$,

в західній елонгації $l - l_0 = 90^\circ - \Theta$,

в східній елонгації $l - l_0 = 270^\circ + \Theta$,

де Θ – найбільше видиме кутове віддалення планети від Сонця.

Для зовнішньої планети

у протистоянні $l - l_0 = 0^\circ$,

в сполученні $l - l_0 = 180^\circ$.

Будь-які планетні конфігурації і дати їх настання можуть бути обчислені за геліоцентричною довготою планет l , яку відраховують в площині екліптики від точки весняного рівнодення Υ в прямому напрямі, тобто проти обертання годинникової стрілки. Нехай в деякий день року t_1 геліоцентрична довгота верхньої планети l_1 , а геліоцентрична довгота Землі l_{01} . Планета за добу проходить по орбіті дугу $\omega = 360^\circ/T$ (середній добовий хід планети), а Земля – дугу $\omega_0 = 360^\circ/T_\oplus$ (середній добовий хід Землі), де періоди виражені в середніх добах (рис. 17).

В день t_2 шуканої конфігурації геліоцентрична довгота планети

$$l_2 = l_1 + \omega(t_2 - t_1) = l_1 + \omega\Delta t,$$

а Землі

$$l_{02} = l_{01} + \omega_0(t_2 - t_1) = l_{01} + \omega_0\Delta t$$

звідки, позначивши $\omega_0 - \omega = \Delta\omega$ і $(l_{02} - l_{01}) - (l_2 - l_1) = L$, отримаємо

$$\Delta t = \frac{L}{\Delta\omega} \text{ і } t_2 = t_1 + \Delta t.$$

При обчисленні конфігурацій нижніх планет $\omega - \omega_0 = \Delta\omega$.

Найбільші зближення із Землею планет, що обертаються по помітно витягнутих орбітах, повторюються через цілі числа m і n середніх синодичних S і сидеричних T періодів обертання, оскільки

$$mS = nT.$$

Ця ж формула дозволяє встановити періодичність великих протистоянь планет.

Кут при Землі між напрямками із Землі до точки весняного рівнодення і до планети, який відраховується проти годинникової стрілки, називається геоцентричною довготою планети l' (рис. 18).

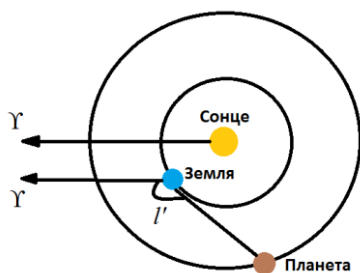


Рис. 18. Геоцентрична довгота планети

Елементами планетної орбіти є наступні величини (рис. 19).



Рис. 19. Елементи планетної орбіти

1. Велика піввісь a .
2. Ексцентриситет e .
3. Кут між площинами орбіти планети і екліптики – нахил орбіти i .
4. Виміряна у площині екліптики кутова відстань від напрямку на точку весняного рівнодення до площини орбіти планети в тій її частині, де планета стає ближче до північного полюса екліптики (лінія перетину площин орбіти планети та площини екліптики називається *лінією вузлів*, точки перетину площини екліптики з орбітою планети – *вузлами орбіти*. Вузол, через який планета переходить, рухаючись у бік північного полюса екліптики, називається *висхідним вузлом*, протилежний вузол – *низхідний*).

Тому можна сказати, що четвертим елементом планетних орбіт є довгота висхідного вузла η . Нахил орбіти та довгота висхідного вузла визначають положення площини орбіти у просторі.

5. Кутова відстань перигелію ω від висхідного вузла. Нею задають орієнтацію орбіти планети в її площині.

6. Справжня аномалія планети T – кутова відстань планети від перигелію P .

За відомими елементами a, e, i, ϱ, ω і T на основі формул Кеплера обчислюють *ефемериди* планети – положення планети на кожен день на кілька років наперед.

Приклади розв'язування задач

Приклад 1. Знайти перигелійну і афелійну відстані, сидеричний і синодичний періоди обертання, а також колову швидкість малої планети Поезії, якщо велика піввісь і ексцентриситет її орбіти дорівнюють 3,12 а.о. і 0,144.

Дано: $a = 3,12$ а. о., $e = 0,144$.

Розв'язок.

Перигелійна відстань

$$q = a(1 - e) = 3,12(1 - 0,144) = 2,67 \text{ а.о.}$$

і афелійна відстань

$$Q = a(1 + e) = 3,12(1 + 0,144) = 3,57 \text{ а.о.}$$

Сидеричний період обертання

$$T = a\sqrt{a} = 3,12\sqrt{3,12}; \quad T = 5,51 \text{ р.}$$

Оскільки $a > 1$ а.о., то планета верхня і тому її синодичний період обертання S обчислюється за формулою $\frac{1}{S} = \frac{1}{T_{\oplus}} - \frac{1}{T}$ при

$$T_{\oplus} = 1 \text{ р.}$$

$$S = \frac{T}{T - 1}; \quad S = \frac{5,51}{5,51 - 1} = 1,22 \text{ р.}$$

Колова швидкість

$$v_a = \frac{29,8}{\sqrt{a}}; \quad v_a = \frac{29,8}{\sqrt{3,12}} = 16,9 \text{ км/с.}$$

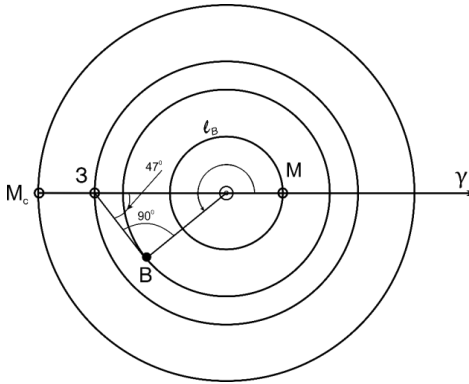
Приклад 2. Визначити геліоцентричну довготу Землі і планет 21 березня, якщо в цей день Меркурій знаходився в

верхній кульмінації з Сонцем, Венера – в найбільшій західній елонгації і Марс – в протистоянні.

Дано: Меркурій, $\Delta\lambda = 0^\circ$; Венера, $\Delta\lambda = 47^\circ$; Марс, $\Delta\lambda = 180^\circ$.

Розв'язок.

Зобразимо на рисунку орбіти планет концентричними колами в центрі яких знаходиться Сонце, з якого проводимо промінь, який показує напрям на точку весняного рівнодення.



Так як 21 березня Сонце з Землі видно в точці весняного рівнодення, то Земля (З) знаходиться в діаметрально протилежній точці своєї орбіти і її геліоцентрична довгота $l_0 = 180^\circ$. Меркурій (М) зобразимо в верхній кульмінації (за Сонцем), його геліоцентрична довгота $l_M = 0^\circ$. Венера (В) знаходиться в найбільшій західній елонгації і тому проводимо з Землі дотичну до орбіти Венери вправо (до заходу) від Сонця. Геліоцентрична довгота Венери

$$l_B = 180^\circ + (90^\circ - \Delta\lambda) = 270^\circ - 47^\circ = 223^\circ.$$

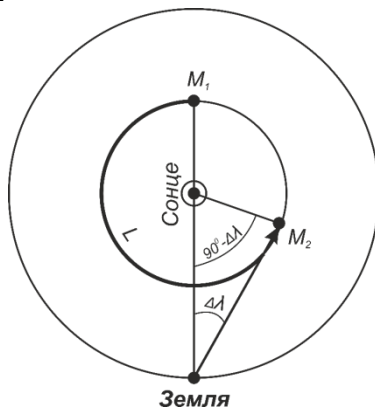
У Марса (M_c), який знаходиться в протистоянні геліоцентрична довгота $l_{M_c} = 180^\circ$.

Приклад 3. Верхня кульмінація Меркурія відбулася 18 квітня. Коли приблизно відбудеться найбільша західна елонгація планети, якщо середньодобовий хід Меркурія $\omega = 4^\circ, 09$, а Землі $\omega_\oplus = 0^\circ, 99$.

Дано: Меркурій, $t_1 = 18.04$, $\Delta\lambda = 22^\circ$, $\omega = 4^\circ,09$; Земля, $\omega_{\oplus} = 0^\circ,99$.

Розв'язок.

Меркурій рухається швидше Землі ($\omega > \omega_{\oplus}$). Зобразимо Землю і Меркурій відносно неї в момент t_1 верхньої кульмінації (M_1) і в момент t_2 найбільшої західної елонгації (M_2).



За проміжок часу $\Delta t = t_2 - t_1$ Меркурій пройде дугу $L = M_1 M_2$ з середньодобовим рухом

$$\Delta\omega = \omega - \omega_{\oplus} = 4^\circ,09 - 0^\circ,99 = 3^\circ,10.$$

Із рисунку бачимо, що

$$L = 180^\circ + (90^\circ - \Delta\lambda) = 270^\circ - 22^\circ = 248^\circ.$$

Тоді, згідно формули $\Delta t = \frac{L}{\Delta\omega}$ отримуємо:

$$\Delta t = \frac{L}{\Delta\omega} = \frac{248^\circ}{3^\circ,10} = 80 \text{ діб}.$$

Отже, наступна найбільша західна елонгація Меркурія настане приблизно $t_2 = 18.04 + 80 \text{ діб} = 7.07$ або $t_2 = 7$ липня.

Задачі для самостійного розв'язування

309. Скільки часу потяг, що йде без зупинок зі швидкістю 100 км/год, мав би йти від Землі до орбіти Плутона?

310. Космонавтам на Марсі кутові розміри сонячного диску були $6\ 22',7$. Знаючи, що лінійний радіус Сонця дорівнює 109 земним радіусам, знайти, скільки часу світло від Сонця йде до Марса.
311. Скільки часу потрібно летіти від Землі до Марса в міжпланетному кораблі, що рухається по орбіті, перигелійна відстань якої дорівнює відстані Землі від Сонця (1 а.о.), а афелійна відстань дорівнює відстані від Марса до Сонця (1,5 а.о.)?
312. Чи може відбутися проходження Марса по диску Сонця? проходження Меркурія? проходження Юпітера?
313. Чи можна побачити Меркурій ввечері на сході?
314. Планету видно на відстані 120° від Сонця. Верхня це планета чи нижня?
315. Ексцентриситет орбіти комети 0,9, сидеричний період 1000 років. Яка відстань цієї комети від Сонця в перигелії і афелії?
316. Ексцентриситет орбіти Меркурія дорівнює 0,2, велика піввісь – 0,4 а.о. Яка найбільша і найменша відстань планети від Землі в кілометрах?
317. Обчислити перигелійну і афелійну відстані Сатурна і Нептуна, якщо їх середні відстані від Сонця 9,54 а.о. і 30,07 а.о., а ексцентриситети орбіт – 0,054 і 0,008.
318. Знайти перигелійну відстань Нептуна ($a = 30,07$ а.о., $e = 0,008$) та Плутона ($a = 39,52$ а.о., $e = 0,253$).
319. Знайти значення справжньої аномалії планети, при яких її радіус-вектор дорівнює середній геліоцентричній відстані.
320. Знайти ексцентриситет орбіти і перигелійну відстань Марса і астероїда Адоніс, якщо у Марса велика піввісь орбіти 1,52 а.о. і найбільша відстань від Сонця 1,66 а.о., а у Адоніса відповідно 1,97 а.о. і 3,50 а.о. Вказати, яка з цих двох планет підходить ближче до Сонця.
321. На якій середній і найбільшій геліоцентричній відстані рухаються малі планети Ікар і Симеїза, якщо у Ікара перигелійна відстань і ексцентриситет орбіти 0,187 а.о. і 0,827, а у Симеїзи – 3,219 а.о. і 0,181?
322. Видиме із Землі добове зміщення Сонця по екліптиці на початку січня досягає найбільшого значення $61'$, а на

- початку липня – найменшого значення 57'. Обчислити ексцентриситет земної орбіти і вказати, які її точки Земля проходить в ці дні.
323. Астероїд Фортуна зближується із Землею до відстані 1,056 а.о., а астероїд Офелія – до 1,716 а.о. Їх середні геліоцентричні відстані відповідно дорівнюють 2,442 а.о. і 3,129 а.о. Знайти ексцентриситети орбіт цих астероїдів, їх перигелійні і афелійні відстані. Орбіту Землі вважати колом, а нахилами орбіт астероїдів знехтувати.
 324. На яких граничних відстанях від Землі можуть знаходитися Меркурій ($a = 0,387$ а.о., $e = 0,206$) і Марс ($a = 1,524$ а.о., $e = 0,093$)? Орбіту Землі вважати колом.
 325. Знайти межі зміни діаметра сонячного диска з Марса, якщо при середній геліоцентричній відстані планети він дорівнює $21'3''$. Ексцентриситет орбіти планети 0,093.
 326. Видимий із Землі діаметр сонячного диска на початку січня дорівнює $32'35''$, а на початку липня – $31'31''$. Обчислити ексцентриситет земної орбіти, перигелійну і афелійну відстані Землі і порівняти вплив ексцентриситету на зміну сезонів року з впливом нахилу земної осі, яка дорівнює $23^\circ 26'$ (розрахунки провести для географічних широт 0° , 30° і 60°).
 327. Обчислити періоди обертання навколо Сонця Венери і астероїда Європи, у яких середні геліоцентричні відстані відповідно дорівнюють 0,723 а.о. і 3,10 а.о.
 328. Визначити періоди обертання навколо Сонця малої планети Аполлон і комети Ікеї, якщо вони проходять поблизу Сонця майже на однакових відстанях – Аполлон на відстані 0,645 а.о., а комета на відстані 0,633 а.о., але їхні орбіти мають ексцентриситети 0,566 і 0,9933 відповідно.
 329. Скільки часу обертається навколо Сонця планета, що знаходиться на відстані 100 а.о.?
 330. Астероїд Паллада віддалений від Сонця в середньому на відстань в 2,77 рази більшу, ніж Земля від Сонця. Чому дорівнює час його повного оберту навколо Сонця?
 331. Яка середня відстань від Сонця малої планети, період обертання якої навколо Сонця становить 8 років?

332. Астероїд Веста здійснює повний оберт навколо Сонця за 3,63 роки; у скільки разів далі, ніж Земля, він знаходиться в середньому від Сонця?
333. Період обертання супутника Сатурну – Мімаса – $23^{\text{г}}$, а шостого супутника – Титану – $15^{\text{д}}23^{\text{г}}$. Яке відношення їх середніх відстаней від Сатурна?
334. Третій супутник Юпітера обертається навколо планети на відстані 14,9 її радіусів за $7^{\text{д}}3^{\text{г}}7$. Скільки часу обертається п'ятий супутник, відстань якого дорівнює 2,52 радіусів планети? Восьмий супутник, для якого вона дорівнює 328 радіусам?
335. Перший супутник планети Юпітер – Іо обертається навколо неї за $42^{\text{г}}28^{\text{хв}}$ на середній відстані 421800 км. З якими періодами обертаються навколо Юпітера його супутники Європа і Ганімед, великі півосі орбіт яких дорівнюють 671,1 тис. км та 1070 тис. км?
336. Знайти середню відстань від Сатурна його супутників Мімаса і Реї, які обертаються навколо планети з періодами $22^{\text{г}}37^{\text{хв}}$ і $4^{\text{д}}518$. Найбільший супутник планети – Титан, обертається за $15^{\text{д}}945$ по орбіті з великою піввіссю 1221 тис. км.
337. Чому дорівнює колова швидкість планет Урану і Плутона, середня відстань яких від Сонця становить відповідно 19,19 а.о. і 39,52 а.о.?
338. Знайти середню орбітальну швидкість астероїдів Ікара (1,078 а.о.), Крimei (2,774 а.о.) і Нестора (5,237 а.о.). В дужках вказано середню геліоцентричну відстань.
339. При яких значеннях справжньої аномалії швидкість небесного тіла, що обертається по еліптичній орбіті, дорівнює його коловій швидкості?
340. На скільки (в кутовій мірі) Земля за добу обганяє Марс, якщо дивитися з Сонця (зоряні періоди обертання цих планет відповідно 365,25 і 687 діб)?
341. Чому б дорівнював синодичний період обертання планети, зоряний період обертання якої навколо Сонця становив би 370 днів? На яку відстань вона наближалася б до Землі?

342. Спостерігач помітив, що деяка планета буває в протистоянні кожні 665,25 доби. Яка її відстань від Сонця в астрономічних одиницях?
343. Яка була б велика піввісь орбіти планети, якби синодичний період її обертання дорівнював 1 року?
344. У яких межах повинні знаходитися планети від Сонця, щоб їх синодичний період обертання був більший двох років?
345. Чи може Марс щорічно підходити до Землі на найменшу відстань, тобто щорічно бути в протистоянні?
346. Визначити зоряний період обертання Марса, знаючи, що його синодичний період дорівнює 780 діб.
347. Синодичний період обертання уявної планети – 3 роки. Який зоряний період її обертання навколо Сонця?
348. Яким повинен бути зоряний період обертання планети, синодичний період якої дорівнює 4 роки?
349. Яка повинна бути тривалість зоряного і синодичного періодів обертання планети у випадку їх рівностей?
350. Протистояння Юпітера відбулося 15 липня. Коли воно відбудеться наступного разу, якщо зоряний період обертання Юпітера 11,86 років?
351. Спостерігач помітив, що деяка планета відходить до сходу від Сонця на 90° кожні 505,25 діб. Який її сидеричний період обертання?
352. Найкраща вечірня видимість Венери була 5 лютого. Коли наступного разу відбудеться ця ж подія, якщо зоряний період обертання Венери 225 діб?
353. Астероїд Лідія буває в протистоянні через кожні 469 діб, а астероїд Інна – через 447 діб. У скільки разів ці астероїди в середньому знаходяться далше від Сонця ніж Земля?
354. Середній синодичний період обертання Меркурія 116 діб і перигелійна відстань 0,307 а.о., Сатурна – 378 діб і 9,024 а.о. Обчислити для цих планет сидеричний період обертання, велику піввісь і ексцентриситет орбіти, афелійну відстань, найбільшу та найменшу геоцентричну відстань, колову швидкість, а також граничну зміну кількості тепла, яке вони одержують від Сонця внаслідок еліптичності орбіти. Земну орбіту вважати коловою.

355. Умови видимості Венери повторюються через 8 років. З'ясувати причину цього явища.
356. Знайти середній добовий рух Меркурія по орбіті, якщо синодичний період його обертання навколо Сонця дорівнює 115,88 діб.
357. Земля для майбутніх космонавтів на Марсі є то ранковим, то вечірнім світилом. Через які проміжки часу можна бачити Землю з Марса в якості ранкової зірки?
358. Знаючи відстані планет від Сонця, обчислити найбільше кутове віддалення Землі від Сонця, видиме з Марса.
359. На який кут може відходити від Землі Місяць для спостерігача, що знаходиться на Марсі під час середнього протистояння, якщо відстані від Землі до Місяця і Марса вважати відомими?
360. Відстань Юпітера від Сонця становить 5,2 а.о. Яка елонгація Землі (у градусах), що спостерігається з Юпітера в якості ранкового або вечірнього світила?
361. З якою видимою кутовою швидкістю Венера перетинає диск Сонця при її проходженні? Скільки часу триває її проходження по диску Сонця, якщо воно центральне? Відстань Венери від Сонця 0,723 а.о., синодичний період обертання Венери 584 доби; діаметр Сонця 3'.
362. Визначити відстань від Сонця до Венери в астрономічних одиницях, якщо її кут елонгації 47° .
363. Вважаючи орбіту Меркурія коловою, обчислити його середню відстань від Сонця, знаючи, що в середній елонгації Меркурій віддаляється від Сонця на 23° .
364. Визначити відстань Юпітера від Сонця в астрономічних одиницях, знаючи наступні дані: протистояння Юпітера відбулося 10 липня. Через 11 років 315 днів (зоряний період обертання Юпітера) геоцентрична різниця довгот Сонця і Юпітера становила за спостереженнями 120° .
365. Знайти приблизні дати попередньої і наступної найбільшої західної елонгації Венери, якщо така ж її конфігурація відбулася 7 листопада. Велика піввісь орбіти Венери 0,723 а.о.

366. Обчислити найближчі дати двох чергових верхнього та нижнього сполучень Меркурія, якщо попереднє нижнє сполучення планети відбулося 9 жовтня. Зоряний період обертання Меркурія 88 діб.
367. Визначити день найближчого наступного протистояння Юпітера, знаючи, що геліоцентрична довгота Юпітера 1 січня $306^{\circ}55'$, а Землі $99^{\circ}55'$.
368. Визначити дні сполучень Юпітера з Сонцем в цьому і в наступному році, знаючи геліоцентричні довготи на 1 січня Юпітера $306^{\circ}55'$ і Землі $99^{\circ}55'$.
369. Знайти день найближчого після 1 січня нижнього сполучення Венери з Сонцем, знаючи, що геліоцентрична довгота Венери 1 січня $260^{\circ}40'$, а Землі $99^{\circ}55'$.
370. Знайти найближчий до 1 січня день східної елонгації Венери і визначити видиме положення Венери на небі в момент цієї елонгації. Геліоцентричні довготи на 1 січня Венери $260^{\circ}40'$, а Землі $99^{\circ}55'$.
371. Визначити найближчий день найкращої ранкової видимості Венери, знаючи геліоцентричні довготи на 1 січня Венери $260^{\circ}40'$ і Землі $99^{\circ}55'$.
372. Геліоцентрична довгота Землі 1 січня 100° , а Марса $172^{\circ}49'$. Визначити видиме положення Марса на небі 1 травня того ж року і 1 травня через два роки.
373. Геліоцентрична довгота Юпітера 1 липня – 291° , а Землі – 279° . Визначити видиме положення Юпітера на небі 1 вересня.
374. Визначити геліоцентричну довготу Меркурія і Юпітера 25 вересня, якщо 9 березня цього ж року геліоцентрична довгота Меркурія була 243° , а Юпітера 359° . Середній добовий рух Меркурія $4^{\circ},09$, а Юпітера – $5',0$.
375. 17 лютого геліоцентрична довгота Венери 26° , а геліоцентрична довгота Сатурна 107° . Середній добовий рух цих планет відповідно дорівнює $1^{\circ},602$ і $0^{\circ},034$. Обчислити геліоцентричну довготу цих планет 17 липня.
376. 29 березня геліоцентрична довгота Землі 187° , Юпітера 1° і Урана 210° . Коли відбудеться найближче протистояння цих планет, якщо середній добовий рух Землі дорівнює $0^{\circ},986$, Юпітера $4',98$ і Урана $0',72$?

377. Знайти день чергового верхнього сполучення Венери, якщо 23 квітня її геліоцентрична довгота дорівнювала 131° , а геліоцентрична довгота Землі – 212° . Середній добовий рух Венери дорівнює $1^\circ,602$, а Землі $0^\circ,986$.
378. Визначити день чергового нижнього сполучення Венери, якщо її найбільша західна елонгація (47°) відбулася 7 листопада. Середній добовий рух Венери дорівнює $1^\circ,602$, а Землі $0^\circ,986$.
379. Обчислити день чергової найбільшої східної елонгації Меркурія (22°), якщо його найбільша західна елонгація (27°) була 6 березня. Середній добовий рух Меркурія дорівнює $4^\circ,092$, а Землі $0^\circ,986$.
380. Протистояння астероїда Ірми відбулося 23 вересня, а Ліни – 2 грудня того ж року. Велика піввісь орбіти Ірми 2,772 а.о., а орбіти Ліни – 3,139 а.о. Коли одночасно відбудеться найближче сполучення цих астероїдів?
381. Яка геліоцентрична довгота Землі і планет 23 вересня, коли Меркурій перебував у найбільшій західній елонгації (28°), Венера – в нижньому сполученні, Марс – в сполученні і Юпітер – в протистоянні?
382. Визначити геліоцентричну довготу Землі і планет 22 червня, якщо в цей день Меркурій перебував у нижньому сполученні, Венера – в найбільшій східній елонгації (45°), Марс – у протистоянні і Юпітер – в західній квадратурі. Геліоцентрична відстань Юпітера 5,2 а.о.
383. Сидеричний період обертання Меркурія 88^d , а синодичний період – 116^d . Приблизно через скільки часу повторюються найбільші зближення Меркурія з Землею?
384. У орбіти Марса велика піввісь – близько 1,52 а.о. і ексцентриситет 0,093, а у орбіти астероїда Ерота – 1, 46 а.о. і 0,222. Через які проміжки часу відбуваються великі протистояння, на яку приблизно відстань вони в ці епохи зближуються із Землею і на скільки можуть віддалятися від неї? Орбіту Землі прийняти коловою.

§7. Відстані, розміри і обертання тіл Сонячної системи

Добовим паралаксом (від гр. *παράλλαξις* – зміщення) p називається кут між напрямом на світило з якої-небудь точки земної поверхні і напрямом на нього з центра Землі.

Найбільшого значення p_0 цей кут досягає, коли світило знаходиться на горизонті. Тоді він називається *горизонтальним паралаксом*.

Для обчислень використовують *екваторіальний горизонтальний паралакс*, тобто кут, під яким зі світила видно екваторіальний радіус Землі (рис. 20).

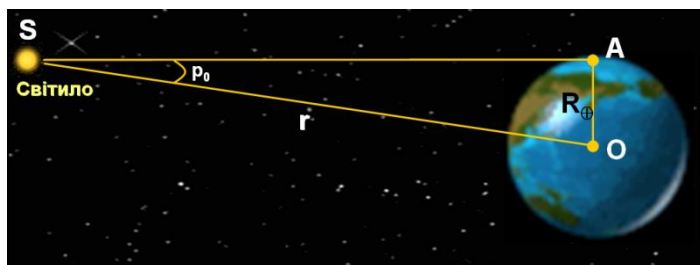


Рис.20. Екваторіальний горизонтальний паралакс світила

А саме: відстань r від Землі до тіл Сонячної системи обчислюють за їх горизонтальним екваторіальним паралаксом p_0 і екваторіальним радіусом Землі R_{\oplus} :

$$r = \frac{R_{\oplus}}{\sin p_0}.$$

Горизонтальний паралакс використовується лише для визначення відстаней до планет Сонячної системи. Для них він значно менший і лише у деяких випадках перевищує $1'$. Тому формулу можна спростити, прийнявши для малих кутів, що $\sin p_0 \approx p_0$ (у радіанах). Перетворюючи радіани в секунди ($1 \text{ радіан} \approx 206265''$):

$$r = \frac{206265''}{p_0''} R_{\oplus}.$$

Якщо покласти $R_{\oplus} = 1$, то r отримаємо в екваторіальних радіусах Землі. При обчисленні r в кілометрах слід прийняти $R_{\oplus} = 6378 \text{ км}$.

Горизонтальний екваторіальний паралакс p_0 Місяця в середньому дорівнює $57''$, а Сонця – $8'',79$.

Знаючи відстані до планет і вимірюючи їх кутові розміри, неважко визначити лінійні розміри планет.

Якщо кутові розміри небесного тіла $\rho \geq 3^\circ$, то його лінійні розміри $R = r \sin \rho$. (рис. 21)

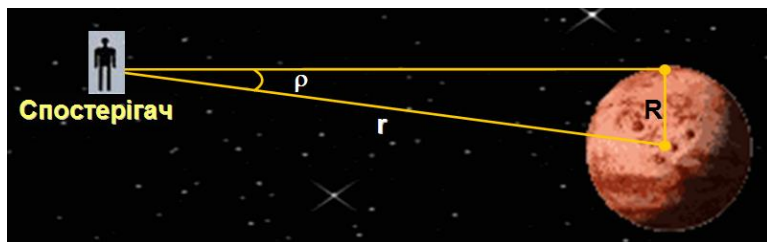


Рис. 21. До визначення лінійних розмірів тіл Сонячної системи

При $\rho < 3^\circ$, внаслідок пропорційності $\sin \rho$ і ρ отримаємо

$$R = r \frac{\rho'}{3438'} \quad (\rho - \text{в хвилинах дуги}),$$

$$R = r \frac{\rho''}{206265''} \quad (\rho - \text{в секундах дуги}),$$

$$R = R_{\oplus} \frac{\rho}{\rho_0}.$$

Радіуси Сонця і планет зазвичай виражаються в радіусах Землі (рідше – в кілометрах), причому полярний радіус R_n , екваторіальний радіус R_e і стиск ε планети пов'язані залежністю

$$R_n = R_e(1 - \varepsilon),$$

а середній радіус

$$R_c = \sqrt[3]{R_e^2 R_n} = R_e \sqrt[3]{(1 - \varepsilon)}.$$

При співпадінні напрямів обертання небесного тіла навколо осі і навколо Сонця тривалість його сонячної доби S , період обертання навколо осі P і період обертання навколо Сонця T пов'язані залежністю

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{P} - \frac{1}{T} \quad (\text{при } P < T) \quad \text{і} \quad \frac{1}{S} = \frac{1}{T} - \frac{1}{P} \quad (\text{при } P > T),$$

а при протилежних напрямках одному з періодів приписується знак мінус.

Приклади розв'язування задач

Приклад 1. У комети, яка проходила недалеко від Землі, горизонтальний екваторіальний паралакс $14'',5$, кутовий діаметр голови $15'$ і видима довжина хвоста 8° . Обчислити лінійні розміри голови і нижню межу довжини хвоста комети. (Спостерігач бачить проекцію хвоста на небесну сферу).

Дано: $p_0 = 14'',5$, $\rho = 15'$ і $\lambda = 8^\circ$.

Розв'язок.

Відстань комети від Землі можна знайти за формулою:

$$r = \frac{206265''}{p_0''} \cdot R_0 = \frac{206265''}{14'',5} \cdot 6378 = 90,73 \cdot 10^6 \text{ км},$$

або коли відомо паралакс Сонця $p_\odot = 8'',794$,

$$r = \alpha_0 \cdot \frac{p_\odot}{p_0} = 1 \cdot \frac{8'',794}{14'',5} = 0,6065 \text{ а.о.},$$

або

$$r = 0,6065 \cdot 149,6 \cdot 10^6 = 90,73 \cdot 10^6 \text{ км}.$$

Оскільки $\rho < 3^\circ$, то лінійний діаметр голови

$$D = r \frac{\rho}{3438'} = 90,73 \cdot 10^6 \frac{15'}{3438'} = 396 \cdot 10^9 \text{ км}.$$

Кутова довжина хвоста $\lambda = 8^\circ > 3^\circ$, і тому для обчислення нижньої межі довжини хвоста використовуємо формулу:

$$l = r \sin \lambda = 0,6065 \cdot \sin 8^\circ = 0,6065 \cdot 0,1392 = 0,0844 \text{ а.о.},$$

або

$$l = 0,0844 \cdot 149,6 \cdot 10^6 = 12,6 \cdot 10^6 \text{ км}.$$

Приклад 2. Деяка гіпотетична планета обертається навколо Сонця в прямому напрямку за 1,52 роки, а навколо своєї осі обертається назустріч з періодом 32 доби. Знайти тривалість сонячної доби на планеті.

Дано: $T = 1,52$ роки $= 555^{\text{д}}$, $P = 32^{\text{д}}$.

Розв'язок.

Оскільки $P < T$, а напрям обертання планети навколо Сонця протилежний її осьовому обертанню, то,

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{P} - \frac{1}{T} = \frac{1}{32} + \frac{1}{555} = \frac{587}{32 \cdot 555},$$

звідки тривалість сонячної доби

$$S = \frac{(32 \cdot 555)}{587} = 30^{\text{д}}, \text{ тобто } 30 \text{ земних діб.}$$

Задачі для самостійного розв'язування

385. Скільки часу промінь світла йде від Сонця до Землі?
386. Діаметр Місяця складає 0,27 діаметра Землі. Нехтуючи відстанню від Землі до Місяця, визначити горизонтальний паралакс Сонця для спостерігача, який знаходиться на Місяці.
387. Чому дорівнює горизонтальний паралакс Марса, коли ця планета знаходиться найближче до Землі (0,378 а.о.)? Горизонтальний паралакс Сонця $8''$, 79.
388. Який найбільший кутовий діаметр Землі, якщо її спостерігати з Марса на відстані 0,378 а.о.?
389. Нептун знаходиться від Сонця на відстані 30 а.о. Чому дорівнює його горизонтальний паралакс на середній відстані від Землі?
390. Чому дорівнює горизонтальний паралакс Юпітера, коли він перебуває від Землі на відстані 6 а.о.?
391. Визначити середній радіус і стиск Землі, якщо її екваторіальний радіус 6378 км, а полярний – 6357 км.
392. Радіоімпульс, спрямований до Венери в її нижньому сполученні на середній відстані від Сонця 0,7233 а.о., повернувся до Землі через $4^{\text{хв}}36^{\text{с}}$. Обчислити геоцентричну відстань планети під час радіолокації, довжину астрономічної одиниці в кілометрах і середній горизонтальний екваторіальний паралакс Сонця.
393. При середньому протистоянні Марса спрямований до нього радіосигнал повернувся до Землі через 522,6 с. Знайти середню геліоцентричну відстань Землі і горизонтальний екваторіальний паралакс Сонця. Сидеричний період обертання Марса 1,881 р.
394. Який горизонтальний екваторіальний паралакс Місяця при його середній (384400 км), найменшій (356410 км) і найбільшій (406740 км) геоцентричній відстані? Екваторіальний радіус Землі – 6378 км.

395. За даними попередньої задачі обчислити граничні значення діаметра місячного диска, який при середній геоцентричній відстані дорівнює $31'5''$.
396. Межі геоцентричної відстані Місяця, виміряні радіолокаційним методом, були: 16 січня – 406090 км; 28 січня – 357640 км та 12 лютого – 406640 км. Знайти значення великої півосі і ексцентриситет місячної орбіти в інтервалах часу між суміжними датами.
397. Радіосигнал, спрямований до Меркурія при його найбільшому зближенні з Землею, повернувся на Землю через $8^{\text{хв}}52^{\text{с}}$. Визначити геоцентричну відстань планети і ексцентриситет її орбіти, якщо велика піввісь орбіти дорівнює 0,387 а.о.
398. Синодичний період обертання астероїда Ерота становить 2,316 року. В епоху великого протистояння його горизонтальний екваторіальний паралакс дорівнював $58'',26$, а радіус-вектор Землі мало відрізнявся від її перигелійної відстані (ексцентриситет земної орбіти 0,017). На якій відстані від Землі пройшов в цей день астероїд і які велика піввісь і ексцентриситет його орбіти?
399. Які горизонтальні екваторіальні паралакси Урана і Нептуна в протистоянні при їх середній, перигелійній і афелійній відстанях? Велика піввісь і ексцентриситет орбіти першої планети 19,19 а.о. і 0,0460, а другої – 30,07 а.о. і 0,0079. Орбіту Землі вважати колом, а паралакс Сонця $8'',794$.
400. В яких межах змінюється горизонтальний екваторіальний паралакс Сонця, якщо при середній геліоцентричній відстані Землі він дорівнює $8'',794$, а ексцентриситет земної орбіти – 0,0167?
401. Обчислити лінійний радіус Місяця в радіусах Землі і в кілометрах, якщо при горизонтальному екваторіальному паралаксі $55',1$ радіус місячного диска дорівнює $15'$.
402. При середньому протистоянні горизонтальний екваторіальний паралакс Юпітера дорівнює $2'',09$, а Сатурна – $1'',03$. Обчислити екваторіальний, середній і полярний радіуси, а також стиск цих планет, якщо у першої кутовий екваторіальний діаметр становить $46'',8$,

- кутовий полярний діаметр $43'',9$, а у другої – $19'',4$ і $17'',5$ відповідно.
403. В момент протистояння Юпітер віддалений від Землі на 628 млн. км; його кутовий діаметр $47'',2$. Визначити лінійний радіус Юпітера.
 404. Найменша відстань Венери від Землі дорівнює 40 млн. км; в цей момент кутовий радіус Венери дорівнює $32'',4$. Визначити лінійний діаметр цієї планети.
 405. Знаючи, що горизонтальний добовий паралакс Місяця дорівнює $57'2'',7$, а кутовий радіус Місяця $15'32'',6$, обчислити відстань до Місяця і його лінійний радіус, виражений в радіусах Землі, а також площу поверхні і об'єм Місяця, порівняно з земними.
 406. Екваторіальний горизонтальний паралакс Сонця дорівнює $8'',79$ з точністю до $0'',01$. Вказати у відсотках і в кілометрах точність, з якою за цими даними отримується відстань до Сонця.
 407. Паралакс Сонця $8'',8$, а видимий радіус Сонця дорівнює $16'1''$. У скільки разів радіус Сонця більший радіуса Землі? Який діаметр Сонця в кілометрах?
 408. Кутовий радіус Місяця $16'20''$, а паралакс $59'51''$. Визначити видимий радіус Місяця, коли його паралакс $3422''$.
 409. Які лінійні розміри діаметру Червоної плями на Юпітері і діаметр радіаційного поясу планети, якщо пляму видно із Землі під кутом $10''$, а випромінювання планети спостерігається аж до відстані в $13',7$ від центру її диска. Паралакс Юпітера $2'',09$.
 410. Горизонтальний екваторіальний паралакс Сонця дорівнює $8'',794$, а його кутовий діаметр – $32'$. Обчислити лінійний радіус Сонця порівняно з земним і лінійні діаметри плям з кутовими діаметрами $0'',8$ і $24''$.
 411. Під час протистояння Юпітера при його середній відстані від Сонця 5,2 а.о., спостережувана із Землі найбільша елонгація чотирьох галілеєвих супутників становить відповідно $138'',5$; $220'',3$; $351'',2$ і $618'',1$. Знайти значення великих півосей орбіт цих супутників.
 412. На яких приблизно відстанях обертаються навколо Марса його супутники Фобос і Деймос, які за

спостереженнями із Землі при середньому протистоянні планети віддаляються від неї відповідно на $24^{\circ},7$ і $61^{\circ},8$? Велика піввісь орбіти Марса дорівнює $1,524$ а.о.

413. З якою кутовою і лінійною швидкістю обертаються точки місячного екватора і селенографічні паралелі з широтами 30° і 60° ? Діаметр Місяця – 3476 км, а період його обертання – $27^{\text{д}},32$.
414. Екваторіальна зона Юпітера діаметром 142800 км обертається з періодом $9^{\text{г}}50^{\text{хв}}$, а середня зона, діаметр якої 139400 км, – з періодом $9^{\text{г}}55^{\text{хв}}$. Знайти кутову і лінійну швидкість точок екватора планети і паралелей з широтами $+30^{\circ}$ і $+60^{\circ}$.
415. За 1 годину спостережень деталі поверхні Марса змістилися по довготі на $14^{\circ},62$. Обчислити період обертання Марса і лінійну швидкість обертання точок його екватора і паралелей з широтами -20° і -50° . Діаметр Марса – 6800 км.
416. Знайти географічну широту точок земної поверхні, лінійна швидкість обертання яких у два, чотири і вісім разів менша лінійної швидкості точок екватора.
417. Меркурій і Місяць обертаються в напрямку свого орбітального руху, перший з періодом $58^{\text{д}},65$, а другий з періодом $27^{\text{д}},32$. Період обертання Меркурія навколо Сонця дорівнює $88^{\text{д}}$, а Місяць обертається навколо нього разом із Землею. Чому дорівнює тривалість сонячної доби на Меркурії і на Місяці?
418. Яка тривалість сонячної доби в сучасних одиницях вимірювання була б на Землі, Місяці і Меркурії, якби ці небесні тіла оберталися назустріч орбітальному руху, тобто зі сходу на захід? Необхідні дані запозичити з попередньої задачі.
419. Знайти тривалість сонячної доби на Венері, яка обертається навколо власної осі з періодом $243^{\text{д}},16$ у протилежному напрямку, а навколо Сонця в прямому напрямку за $225^{\text{д}}$. Яка була б тривалість сонячної доби, якби вказані напрямки обертання співпадали?

§8. Закон Всесвітнього тяжіння і задача двох тіл

З закону Всесвітнього тяжіння випливають, як наслідок, три закони Кеплера, які Ньютон вивів математично в більш загальному вигляді та які застосовують не лише до обертання планет навколо Сонця, але і до будь-яких систем тіл, що обертаються.

Завдання визначення орбіти одного небесного тіла відносно іншого називається *задачею двох тіл*. При розв'язанні цієї задачі небесне тіло більшої маси M (центральне тіло), вважається нерухомим, і визначається орбіта, по якій тіло меншої маси m рухається відносно центрального тіла. Ньютон показав, що в полі тяжіння центрального тіла будь-яке інше небесне тіло рухатиметься по одному з конічних перерізів – колу, еліпсу, параболі або гіперболі, причому центральне тіло завжди знаходиться в одному з фокусів орбіти рухомого тіла, лінійна швидкість v якого відносно центрального на даній відстані r визначається інтегралом енергії

$$v^2 = G(M + m) \left(\frac{2}{r} - \frac{1}{a} \right) = \mu \left(\frac{2}{r} - \frac{1}{a} \right),$$

де $\mu = G(M + m)$, a – велика піввісь орбіти, r – радіус-вектор рухомого тіла, G – гравітаційна стала.

Якщо маса рухомого тіла набагато менша порівняно з масою центрального тіла, то задача двох тіл називається обмеженою і тоді $\mu = GM$.

Згідно інтегралу енергії, кожній відстані від центрального тіла відповідає ряд значень швидкості, що визначають вигляд орбіти рухомого тіла. Так, щоб небесне тіло оберталося навколо центрального по коловій орбіті радіусу $r = a$, воно повинно на даній відстані $r = a$ обов'язково мати величину орбітальної швидкості $v = v_a$, причому згідно інтегралу енергії

$$v_a = \sqrt{\mu \left(\frac{2}{a} - \frac{1}{a} \right)} = \sqrt{\frac{\mu}{a}} \quad \text{або} \quad v_a = \sqrt{\frac{\mu}{r}}.$$

Ця швидкість називається *коловою швидкістю*.

Як середня швидкість руху тіла вона може бути також визначена за періодом обертання T і великою піввіссю a орбіти тіла:

$$v_a = \frac{2\pi a}{T}.$$

Якщо на відстані r від центрального тіла швидкість рухомого тіла перевищує v_a , яка відповідає відстані r , то таке тіло також буде супутником центрального і рухатиметься навколо нього по еліптичній орбіті, велика піввісь якої a може бути обчислена за інтегралом енергії. Чим більше v перевищує v_a , тим більш витягнутою буде еліптична орбіта ($0 < e < 1$). Нарешті, якщо на даній відстані r від центрального тіла швидкість рухомого тіла

$$v = v_a \sqrt{2},$$

то воно вже не буде супутником центрального тіла, а пройде повз нього по параболічній орбіті. Насправді, при підстановці

$$v^2 = 2v_a^2 = \frac{2\mu}{r}$$

в інтеграл енергії отримаємо $1/a = 0$, тобто $a = \infty$, що характеризує еліптичну орбіту ($e = 1$). Тому швидкість

$$v_n = v_a \sqrt{2} = \sqrt{\frac{2\mu}{r}}$$

називається *параболічною швидкістю*.

При $v > v_n$ рух тіла відбувається по гіперболі ($e > 1$).

В кожній точці орбіти з радіус-вектором r швидкість тіла

$$v = v_a \sqrt{\frac{2a}{r} - 1}.$$

Точка еліптичної орбіти, найближча до центрального тіла, називається *перигелієм*, а найбільш віддалена від нього – *апоцентр*. Ці точки отримують конкретні найменування за назвою центрального тіла, і деякі з них приведені в таблиці:

Центральне тіло	Грецька назва	Назва перигелія	Назва апоцентру
Сонце	Геліос	перигелій	афелій
Земля	Гея	перигей	апогей
Венера	Геспер	перигесперій	апогесперій
Марс	Арес	періарій	апоарій
Сатурн	Кронос	перикроній	апокроній
Місяць	Селена	периселеній	апоселеній

В перигентрі, при $r = q = a(1 - e)$ тіло-супутник має найбільшу швидкість

$$v_q = v_a \sqrt{\frac{Q}{q}} = v_a \sqrt{\frac{1+e}{1-e}},$$

а в апоцентрі, при $r = Q = a(1 + e)$ – найменшу

$$v_Q = v_a \sqrt{\frac{q}{Q}} = v_a \sqrt{\frac{1-e}{1+e}}.$$

Вважаючи масу Сонця $M = 1$ і нехтуючи порівняно з масою Сонця масами його супутників ($m = 0$), отримаємо швидкість небесних тіл в полі тяжіння Сонця:

$$v = 29,78 \sqrt{\frac{2}{r} - \frac{1}{a}},$$

де r і a виражені в астрономічних одиницях, а v в км/с.

Цей вираз дозволяє обчислити швидкість планет і комет на будь-якій відстані r від Сонця. Поклавши у формулі $a = r$, можна знайти значення колової швидкості

$$v_a = \frac{29,78}{\sqrt{r}}$$

і значення параболічної швидкості $v_n = v_a \sqrt{2}$ на довільній відстані від Сонця.

Якщо відстані r задані в кілометрах, а маса центрального тіла виражена в масах Землі, то колова швидкість

$$v_a = 631,3 \sqrt{\frac{M}{r}}.$$

Нарешті, при вимірюванні мас в масах Землі і відстаней в радіусах Землі колова швидкість

$$v_a = 7,91 \sqrt{\frac{M}{r}}.$$

Середня або колова швидкість тіла, що обертається навколо центрального тіла по еліптичній орбіті з великою піввіссю a , також обчислюється за цими формулами підстановкою в них $r = a$.

Підстановка у формули $r = R$ (радіус небесного тіла) дає значення колової швидкості v_l біля поверхні цього тіла, яку

називають в космонавтиці першою космічною швидкістю. Друга космічна швидкість $v_{II} = v_I \sqrt{2}$. Очевидно, що

$$v_a = \frac{v_I}{\sqrt{r}} \text{ і } v_n = \frac{v_{II}}{\sqrt{r}},$$

де r відрховується від центру небесного тіла і виражається в його радіусах.

$$\text{Оскільки } v_a = \sqrt{G \frac{M+m}{a}}, \text{ то } \frac{4\pi^2 a^2}{T^2} = G \frac{M+m}{a}, \text{ звідки}$$

$$\frac{T^2(M+m)}{a^3} = \frac{4\pi^2}{G}.$$

Маси супутників, як правило, дуже малі порівняно з масою центрального тіла, і тому, нехтуючи величиною m , можна обчислити масу центрального тіла в певній системі одиниць.

Оскільки маса небесних тіл зазвичай обчислюється порівняно з сонячною або земною масою (тобто, в масах Сонця або в масах Землі), то значно простіше застосувати третій узагальнений закон Кеплера до двох систем тіл, що обертаються

$$\frac{T_1^2(M_1 + m_1)}{T_2^2(M_2 + m_2)} = \frac{a_1^3}{a_2^3}.$$

Тут величини з індексом 1 відносяться до однієї системи центрального тіла і його супутника, а ті ж величини з індексом 2 – до іншої системи аналогічних тіл.

При визначенні мас планет в масах Землі порівнюють рух супутника планети з рухом Місяця навколо Землі.

Приклади розв'язування задач

Приклад 1. Комета Галлея пройшла свій перигелій на геліоцентричній відстані 0,587 а.о. із швидкістю 54,52 км/с, а комета Ікеї-Секі – на перигельній відстані 0,0083 а.о. із швидкістю 480 км/с. По яких орбітах рухаються ці комети і який їх сидеричний період обертання?

Дано: Комета Галлея: $q = 0,587$ а.о., $v_q = 54,52$ а.о. комета Ікеї-Секі: $q = 0,0083$ а.о., $v_q = 480$ км/с.

Розв'язок.

Щоб визначити вид орбіти, необхідно знайти колову v_K і параболічну v_{Π} швидкість комети щодо Сонця на заданих відстанях q від нього і порівняти обчислені швидкості з даними в умові задачі.

Комета Галлея.

Згідно формули $v_K = \frac{29,78}{\sqrt{r}} \approx \frac{29,8}{\sqrt{r}}$, на відстані $q = 0,587$ а.о. – колова швидкість

$$v_K = \frac{29,78}{\sqrt{q}} \approx \frac{29,8}{\sqrt{0,587}} = 38,87 \frac{\text{км}}{\text{с}},$$

а за формулою $v_K = v_K \sqrt{2} = \sqrt{\frac{2\mu}{r}}$ – параболічна швидкість

$$v_{\Pi} = v_K \sqrt{2} = 38,87 \cdot 1,414 = 54,96 \frac{\text{км}}{\text{с}} \approx 55 \frac{\text{км}}{\text{с}}.$$

Оскільки $v_K < v_q < v_{\Pi}$ і в той же час v_q близька до v_{Π} , то комета Галлея обертається навколо Сонця по дуже витягнутій орбіті, велика піввісь якої обчислюється за формулами

$$v = v_a \sqrt{\frac{2a}{r} - 1} \text{ і } v_K = \frac{29,78}{\sqrt{r}} \approx \frac{29,8}{\sqrt{r}}.$$

Поклавши у формулі $v = v_a \sqrt{\frac{2a}{r} - 1}$ $r = q$, знайдемо

$$v_q = v_a \sqrt{\frac{2a}{q} - 1}.$$

За формулою $v_K = \frac{29,78}{\sqrt{r}} \approx \frac{29,8}{\sqrt{r}}$ колова швидкість комети дорівнює $v_K = \frac{29,78}{\sqrt{a}} [\text{км/с}]$. Підставивши цю формулу в попередній вираз, отримаємо:

$$v_q = 29,78 \sqrt{\frac{2}{q} - \frac{1}{a}}.$$

$$\text{Звідси } \frac{29,78^2}{29,78^2 \times \frac{2}{q} - v_q^2} = \frac{886,85}{886,85 \times \frac{2}{0,587} - 54,52^2} = 18,0 \text{ а. о.}$$

За формулою $q = a(1 - e)$ ексцентриситет орбіти

$$e = 1 - \frac{q}{a} = 1 - \frac{0,587}{18,0} = 0,967.$$

За третім законом Кеплера період обертання комети

$$T = a\sqrt{a} = 18\sqrt{18} \approx 76 \text{ років.}$$

Комета Ікеї-Секі.

На відстані $r = q = 0,0083$ а.о. колова швидкість

$$v_K = \frac{29,8}{\sqrt{q}} = \frac{29,8}{\sqrt{0,0083}} = 327 \text{ км/с}$$

і параболічна швидкість

$$v_{\Pi} = v_K \sqrt{2} = 327 \times 1,41 = 461 \text{ км/с.}$$

Таким чином швидкість комети в перигелії $v_q > v_{\Pi}$. Отже, комета пройшла поблизу Сонця по гіперболічній орбіті і більше до нього не повернеться.

Приклад 2. Для астероїда Ікара знайти середню швидкість, швидкість в перигелії, в афелії і в точці орбіти зі справжньою аномалією 90° , а також колову і параболічну швидкість на тих самих відстанях від Сонця. Велика піввісь і ексцентриситет орбіти Ікара дорівнюють 1,078 а.о. і 0,826.

Дано: Ікар, $a = 1,078$ а.о., $e = 0,826$, $T = 90^\circ$.

Розв'язок.

За формулами

$$r = \frac{a(1-e^2)}{1+e \cos T}, \quad q = a(1-e) \text{ і } Q = a(1+e)$$

знаходимо геліоцентричну відстань при $T = 90^\circ$:

$$r = \frac{1,078(1 - 0,826^2)}{1 + e \cos 90^\circ} = 0,342 \text{ а. о.},$$

$$q = 1,078(1 - 0,826) = 0,188 \text{ а. о.}$$

$$Q = 1,078(1 + 0,826) = 1,968 \text{ а. о.}$$

Використовуючи формули

$$v_K = \frac{29,78}{\sqrt{r}} = \frac{29,8}{\sqrt{r}} \text{ [км/с]}, \quad v_q = v_a \sqrt{\frac{1+e}{1-e}} \text{ і } v_Q = v_a \sqrt{\frac{1-e}{1+e}},$$

колова швидкість планети

$$v_a = \frac{29,8}{\sqrt{1,078}} = 28,7 \text{ км/с},$$

швидкість в перигелії

$$v_q = 28,7 \sqrt{\frac{1,968}{0,188}} = 93,0 \text{ км/с}$$

і швидкість в афелії

$$v_Q = \frac{28,7}{\sqrt{\frac{1,968}{0,188}}} = 8,86 \text{ км/с.}$$

За формулою $v = v_a \sqrt{\frac{2a}{r} - 1}$ швидкість астероїда, коли $T = 90^\circ$:

$$v_r = 28,7 \sqrt{\frac{2 \times 1,078}{0,342} - 1} = 66,1 \text{ км/с.}$$

На відстані $q = 0,188 \text{ а.о.}$, згідно формул

$$v_K = \frac{29,78}{\sqrt{r}} = \frac{29,8}{\sqrt{r}} \text{ [км/с]} \text{ і } v_{II} = v_K \sqrt{2} = \sqrt{\frac{2\mu}{r}},$$

колова швидкість

$$v_{Kq} = \frac{29,8}{\sqrt{0,188}} = 68,7 \text{ км/с,}$$

параболічна швидкість

$$v_{IIq} = 68,7 \times 1,41 = 96,9 \text{ км/с,}$$

тобто $v_{Kq} < v_q < v_{IIq}$.

На відстанні $Q = 1,968 \text{ а.о.}$

$$v_{KQ} = \frac{29,8}{\sqrt{1,962}} = 21,2 \text{ км/с,}$$

$$v_{IIQ} = 21,2 \times 1,41 \times 29,9 \text{ км/с,}$$

тобто $v_Q < v_{KQ} < v_{IIQ}$.

На відстані $r = 0,342 \text{ а.о.}$

$$v_{Kr} = \frac{29,8}{\sqrt{0,342}} = 50,8 \text{ км/с,}$$

$$v_{Irr} = 50,8 \times 1,41 = 71,6 \text{ км/с,}$$

тобто $v_{Kr} < v_r < v_{Irr}$.

Приклад 3. Знайти масу Юпітера за рухом його супутника Іо, який обертається навколо планети з періодом $1^{\text{д}}, 765$ по коловій орбіті на відстані $421,6 \cdot 10^3 \text{ км}$.

Дано: супутник, $T = 1^{\text{д}}, 769$, $a = 421,6 \cdot 10^3 \text{ км}$.

Розв'язок.

З формули $T^2(M + m) = 123,7 \cdot 10^{-16} a^3$ випливає

$$M = 132,7 \cdot 10^{-16} \cdot \frac{a^3}{T^2} = 132,7 \cdot 10^{-16} \cdot \frac{(421,6 \cdot 10^3)^3}{(1,769)^2} = 318.$$

Приклад 4. Визначити першу і другу космічну швидкість на Юпітері, колову і параболічну швидкість на відстанях 3 і 8 його радіусів від поверхні, а також швидкість його першого супутника Іо, який обертається по коловій орбіті радіусом $421,6 \cdot 10^3$

км. Маса Юпітера складає 318 земних мас, а середній радіус – 10,9 радіусів Землі.

Дано: Юпітер, $M = 318$, $R = 10,9$; відстані: $3R$ і $8R$ від поверхні планети або від центра планети $r_1 = 4R$ і $r_2 = 9R$;

Розв'язок.

З формули $v_k = 7,91\sqrt{\frac{M}{r}}$ (км/с), перша космічна швидкість

$$v_I = 7,91\sqrt{\frac{M}{R}} = 7,91\sqrt{\frac{318}{10,9}} = 42,7 \text{ км/с}.$$

Друга космічна швидкість

$$v_{II} = v_I \sqrt{2} = 42,7 \cdot 1,41 = 60,2 \text{ км/с}.$$

З формул $v_k = \frac{v_I}{\sqrt{r}}$ і $v_n = \frac{v_{II}}{\sqrt{r}}$, колова швидкість на різних

відстанях

$$v_{k1} = \frac{42,7}{\sqrt{4}} = 21,4 \text{ км/с} \text{ і } v_{k2} = \frac{42,7}{\sqrt{9}} = 14,2 \text{ км/с},$$

і параболічна швидкість

$$v_{n1} = \frac{60,2}{\sqrt{4}} = 30,1 \text{ км/с} \text{ і } v_{n2} = \frac{60,2}{\sqrt{9}} = 20,1 \text{ км/с}.$$

Згідно формули $v_k = 7,91\sqrt{\frac{M}{r}}$ (км/с), швидкість супутника Іо

$$v_a = 631,3\sqrt{\frac{M}{r}} = 631,3\sqrt{\frac{318}{421,6 \cdot 10^3}} = 17,3 \text{ км/с}.$$

Задачі для самостійного розв'язування

420. Яка колова і параболічна швидкість відносно Сонця на середніх відстанях Венери (0,723 а.о.), Землі (1,00 а.о.), Юпітера (5,20 а.о.) і Плутона (39,5 а.о.)? За отриманими результатами знайти і пояснити закономірність.

421. Обчислити швидкість малих планет Ахіллеса та Гектора в перигелії і афелії, якщо їх колова швидкість

- 13,1 км/с, а ексцентриситети орбіт відповідно 0,148 і 0,024. На якій середній геліоцентричній відстані знаходяться ці планети?
422. Велика піввісь і ексцентриситет орбіти Меркурія дорівнюють 0,387 а.о. і 0,206, а орбіти Марса – 1,524 а.о. і 0,093. Знайти середню швидкість цих планет, їх швидкість в перигелії і афелії.
423. Обчислити швидкість астероїдів Лідії та Адоніса на їх середній, перигелійній і афелійній відстанях, а також колову і параболічну швидкість на цих відстанях. Велика піввісь і ексцентриситет орбіти першого астероїда дорівнюють 2,73 а.о. і 0,078, а другого – 1,97 а.о. і 0,778.
424. На яких геліоцентричних відстанях швидкість Меркурія дорівнює 56,1 км/с і 41,7 км/с? Велика піввісь орбіти планети 0,387 а.о.
425. З якою швидкістю відносно Сонця проходив Марс в епоху великого протистояння при геоцентричній відстані 57,15 млн. км? Зіставити цю швидкість з коловою і параболічною швидкістю на тій же відстані від Сонця. Велика піввісь орбіти Марса дорівнює 1,524 а.о.
426. Розв'язати попередню задачу для астероїда Ерота, якщо він в епоху великого протистояння проходив перигелій на відстані 22,59 млн. км від Землі. Період обертання Ерота навколо Сонця дорівнює 1,76 р.
427. На якій відстані від Сонця пройшла комета, що рухалася по параболічній орбіті, якщо її швидкість на цій відстані дорівнювала 65 км/с?
428. Одна комета пройшла перигелій на відстані 0,07 а.о. від Сонця зі швидкістю 160 км/с, а інша – на відстані 1,24 а.о., тобто зі швидкістю 36,5 км/с. Визначити тип орбіт, по яких рухалися ці комети і встановити, чи повернуться вони до Сонця і коли саме.
429. Синодичний період обертання астероїда Колхіди дорівнює 1,298 р., а його швидкість в перигелії – 20,48 км/с. Чому дорівнює сидеричний період обертання астероїда, велика піввісь і ексцентриситет його орбіти, перигелійна і афелійна відстані, а також швидкість на середній геліоцентричній відстані і в афелії?

430. Ексцентриситет орбіти астероїда Узбекистанії дорівнює 0,092, а його швидкість в афелії – 15,21 км/с. Знайти велику піввісь орбіти астероїда, його зоряний і синодичний періоди обертання, швидкість в перигелії і при справжній аномалії 30° , 90° і 120° .
431. Комета рухається навколо Сонця, маючи в даний момент швидкість 565,4 км/с. Її радіус-вектор дорівнює 0,005543 а.о. Визначити ексцентриситет кометної орбіти.
432. Деяка комета рухається по еліпсу, що має ексцентриситет 0,5. Порівняти її лінійні та кутові швидкості в перигелії і афелії.
433. Порівняти в перигелії і в афелії кутові і лінійні швидкості комети, що рухається по еліпсу з ексцентриситетом $1/3$; з ексцентриситетом 0,75.
434. Якщо лінійна швидкість комети в афелії вчетверо менша, ніж в перигелії, який ексцентриситет її орбіти?
435. Обчислити масу Нептуна в масах Землі, знаючи, що його супутник знаходиться від центру планети на 354 тис. км та його період обертання дорівнює $5^h 21^m$.
436. Визначити масу Урана в одиницях земної маси, порівнюючи рух Місяця навколо Землі з рухом супутника Урана – Титанією, що обертається навколо нього з періодом $8^h 17^m$ на відстані 438000 км.
437. Обчислити масу Марса в порівнянні з масою Землі за рухом його супутника Фобоса, для якого $a = 9300$ км, $t = 0,32$ доби. Відповідні величини для Місяця прийняти рівними 384000 км і 27,3 діб.
438. Визначити масу Марса в сонячних масах, знаючи, що відстань Фобоса від планети дорівнює 9380 км, а час зоряного оберту Фобоса 0,31892 доби; відстань Марса від Сонця дорівнює 227 млн. км, а зоряний період обертання Марса дорівнює 686,98 доби.
439. Обчислити масу Юпітера, знаючи, що відстань першого супутника від Юпітера дорівнює 422000 км, час його обертання навколо Юпітера 1,77 доби, відстань Місяця до Землі становить 384000 км, а час обертання Місяця навколо Землі 27,32 доби.
440. Визначити масу Юпітера, прийнявши масу Сонця за одиницю, масу Землі за 0, а також знаючи сидеричний

- період Юпітера 4332,6 доби та Землі 365,26 діб та велику піввісь орбіти Юпітера 5,2028 а.о.
441. Знайти масу Сонця, якщо кутова швидкість обертання Землі становить 1° на добу, а відстань від Землі до Сонця $1,49 \cdot 10^8$ км.
 442. Визначити масу Марса в масах Землі за рухом його супутника Деймоса, що знаходиться від планети на середній відстані 23500 км і обертається навколо Марса за 1,26 доби. Період обертання Місяця навколо Землі дорівнює 27,32 діб і велика піввісь місячної орбіти – 384400 км.
 443. Дізнатися масу Урана за рухом його четвертого супутника Оберона, що обертається навколо планети за 13,46 діб на середній відстані 587 тис. км.
 444. За параметрами обертання Землі обчислити масу Сонця в земних масах.
 445. Визначити сидеричний період і середню швидкість супутників Сатурна Мімаса і Феби, які обертаються навколо планети на середніх відстанях, відповідно 185400 км і 12960 тис. км. Маса Сатурна в 95,2 рази більша маси Землі.
 446. За даними попередньої задачі обчислити швидкість тих же супутників Сатурна в перикронії і апокронії, а також колову і параболічну швидкість на зазначених відстанях від Сатурна. Ексцентриситети орбіт супутників відповідно дорівнюють 0,020 і 0,166.
 447. Знайти велику піввісь орбіт і середню швидкість супутників Юпітера Іо і Калісто, які обертаються навколо планети з періодами відповідно $1^{\text{д}},769$ і $16^{\text{д}},689$. Маса Юпітера в 318 разів більша маси Землі.
 448. Яка повинна бути маса Землі (в порівнянні із сучасною), щоб Місяць обертася навколо неї з сучасним періодом, але на вдвічі більшій відстані?
 449. Як повинна була б миттєво змінитися маса Землі, щоб, залишаючись на сучасній відстані, Місяць обертася навколо неї за дві доби?
 450. На скільки повинна була б раптово зменшитися маса Землі, щоб Місяць покинув її назавжди?

451. Як повинна змінитися маса центрального тіла, щоб у його супутника середня відстань збільшилася в k разів, а період обертання в n разів і, зокрема, при $k = n$?
452. Якою має бути маса Сонця, щоб Земля оберталася навколо нього з сучасним періодом, але на вдвічі більшій відстані? Як зміняться при цьому періоди обертання Марса і Сатурна, якщо їх відстані залишаться незмінними? Сучасні періоди обертання цих планет – 1,881 р. і 29,46 р.
453. Визначити гіпотетичний період обертання Місяця навколо Землі за умови, що маса Землі зросла б у чотири рази, а Місяць знаходився на вдвічі більшій відстані. Сучасний період обертання Місяця дорівнює $27^{\text{д}},32$.
454. Вивести формулу, яка виражає в добах час падіння будь-якого небесного тіла на своє центральне світило, припускаючи, що це падіння таке ж як і рух комети по дуже витягнутому еліпсу з великою віссю орбіти, яка дорівнює початковій відстані між тілами.
455. Скільки часу падала б Земля на Сонце, якби вона перестала обертатися навколо нього?
456. Скільки часу Місяць падав би на Землю, якби його рух припинився?
457. За скільки часу Плутон, падаючи на Сонце, долетів би до його поверхні?
458. Яка була б параболічна швидкість на відстані Землі від Сонця, якби маса останнього зросла в 100 разів?
459. Утримало б Сонце нашу Землю, рухаючись навколо нього по орбіті зі швидкістю 29,76 км/с, якби маса Сонця зменшилася вдвічі?
460. Чи змінився б рух Землі, якби Сонце, зберігаючи свою масу незмінною, досягло в діаметрі тієї ж величини, що діаметр земної орбіти?
461. Як змінилася б орбіта Землі, якби маса Сонця раптово подвоїлася?
462. На скільки збільшився б рік, якби маса Землі зменшилася миттєво в мільйон разів?
463. З якою швидкістю впаде Земля на Сонце, якщо вона зупиниться на своїй орбіті? Відстань від Сонця до Землі

- 1,5·10⁸ км, радіус Сонця 7·10⁵ км і кутова швидкість обертання Землі навколо Сонця 1° за добу.
464. Визначити, яку дотичну швидкість потрібно надати ракеті, щоб вона облітала Землю вздовж поверхні, не падаючи (радіус Землі 6371 км, маса Землі 5,97·10²⁴ кг).
465. Обчислити параболічну швидкість на поверхні Місяця ($R = 0,27$ радіусів Землі, $M = 1/81$ маси Землі).
466. Обчислити параболічну швидкість на поверхні Сонця, якщо радіус Сонця 696000 км.
467. Яку повинна бути швидкість тіла, щоб воно облітало Сонце поблизу його поверхні? Розв'язати цю задачу за допомогою третього закону Кеплера і розглядаючи шукану швидкість як граничну, при якій тіло вже не впаде на поверхню Сонця.
468. Якби у Землі був супутник з періодом обертання в 8 місячних місяців, яка була б до нього відстань?
469. На якій відстані від поверхні Марса повинен би знаходитися його супутник, який обертався б навколо нього з тим же періодом, що і Марс навколо своєї осі?
470. Яку швидкість треба надати міжпланетному кораблю, щоб він міг полетіти з поверхні Марса на інші планети?
471. Обчислити колову і параболічну швидкість на поверхні Землі і на відстанях 1,8 і 59,3 її радіуса від поверхні.
472. Середня геоцентрична відстань Місяця – 384400 км, а середній ексцентриситет її орбіти – 0,0549. Знайти середню, перигейну і апогейну швидкості Місяця.
473. Чому дорівнює колова і параболічна швидкість на поверхні Сонця і на відстані трьох і восьми радіусів від її поверхні? Маса Сонця в 333000 разів більша маси Землі, а її радіус дорівнює 109,1 земним.
474. Визначити колову і параболічну швидкість на поверхні Місяця, Венери і Марса. Маса і радіуси цих тіл в земних параметрах: Місяця 0,0123 і 0,272, Венери 0,815 і 0,950 і Марса 0,107 і 0,533.

§9. Штучні небесні тіла

При запуску штучних небесних тіл їм надається початкова швидкість v_n (швидкість запуску), яка залежить від розрахованої орбіти. Початкова швидкість надається космічним двигуном на деякій висоті h_n над поверхнею центрального тіла (навколо якого запускається супутник), тобто від його центру на відстані

$$r = R + h_n,$$

де R – середній радіус цього тіла. Зокрема, при запуску супутника навколо Землі $R = 6371$ км.

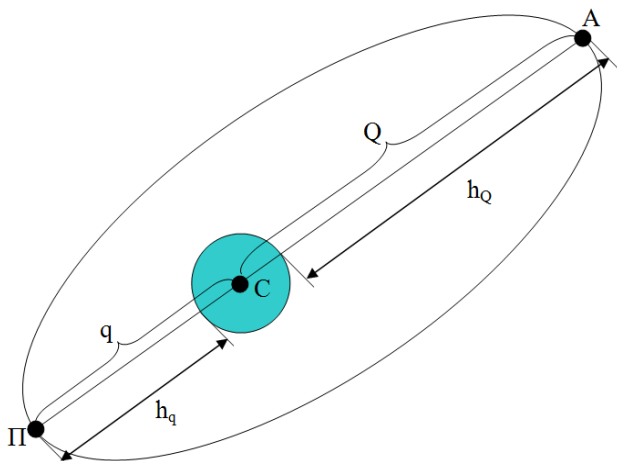


Рис. 22. Еліптична орбіта штучного супутника

Форма і розміри еліптичної орбіти штучного супутника визначаються цілями запуску (рис. 22). Центр центрального тіла є одним з фокусів орбіти, а її велика піввісь

$$a = \frac{q + Q}{2} = R + \frac{h_q + h_Q}{2},$$

причому перицентрична відстань

$$q = R + h_q$$

і апоцентрична відстань

$$Q = R + h_Q,$$

де h_q – найменша висота (висота перицентра) і h_Q – найбільша висота (висота апоцентру) штучного супутника над поверхнею тіла. Для штучних супутників і орбітальних кораблів Землі h_q –

висота перигею, h_Q – висота апогею, q – перигейна відстань і Q – відстань апогею.

Ексцентриситет орбіти визначається формулами

$$q = a(1 - e), \quad Q = a(1 + e).$$

Швидкість штучних небесних тіл виражається в км/с і обчислюється за формулами

$$\begin{aligned} v_a &= \frac{2\pi a}{T}, \quad v = v_a \sqrt{\frac{2a}{r} - 1}, \quad v_q = v_a \sqrt{\frac{Q}{q}} = v_a \sqrt{\frac{1+e}{1-e}}, \\ v_Q &= v_a \sqrt{\frac{q}{Q}} = v_a \sqrt{\frac{1-e}{1+e}}, \quad v_a = 631,3 \sqrt{\frac{M}{r}}, \quad v_a = 7,91 \sqrt{\frac{M}{r}}, \quad v_a = \frac{v_I}{\sqrt{r}}, \\ v_n &= \frac{v_{II}}{\sqrt{r}}. \end{aligned}$$

Періоди обертання штучних супутників прийнято вимірювати в хвилинах, а їх відстані – в кілометрах, і тому третій закон Кеплера має вигляд

$$T^2 = 275,2 \cdot 10^{-10} \frac{a^3}{M} \quad \text{або} \quad T = 16,58 \cdot 10^{-5} a \sqrt{\frac{a}{M}}$$

та

$$a = 331,2 \sqrt[3]{MT^2},$$

де M – маса центрального тіла, виражена в масах Землі.

За параметрами обертання штучного супутника можна обчислити масу центрального тіла.

Тривалість польоту штучних супутників над півкулею центрального тіла, розташованою під перицентром орбіти (перицентрична півкуля)

$$t = \frac{(1-e)^2 \cdot (3+e)^2}{18\sqrt{1-e^2}} \cdot T,$$

де T – період обертання супутника і e – ексцентриситет його орбіти.

Над протилежною (апоцентричною) півкулею супутник пролітає за інтервал часу

$$\tau = T - t.$$

Наведені формули можна застосовувати і до руху природних супутників планет.

У польоті з однієї планети до іншої міжпланетна станція (міжпланетний корабель) стає супутником Сонця і рухається в його полі тяжіння за законами руху планет. Простою траєкторією польоту є напівеліптична (гоманівська), вершини (апсиди) якої дотикаються до орбіт планети запуску (з неї робиться запуск) і планети зближення (до неї прямує станція). Нехтуючи в першому наближенні нахилом і еліптичністю планетних орбіт, можна проводити розрахунки за значеннями їх великих півосей a_1 (планети запуску) і a_2 (планети зближення), які задані в астрономічних одиницях.

При польоті до верхньої планети (рис. 23) запуск станції здійснюється на її перигелійній відстані

$$q = a_1$$

в прямому напрямку. Афелійна відстань станції

$$Q = a_2.$$

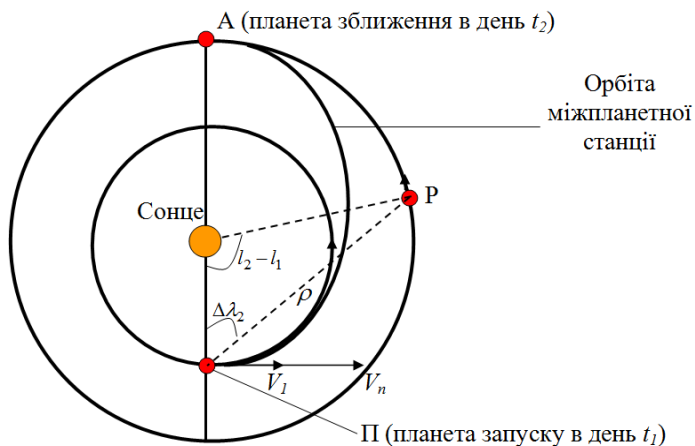


Рис. 23. Гоманівська орбіта міжпланетного корабля

При напрямі станції до нижньої планети $q = a_2$ і $Q = a_1$.

Тривалість польоту, виражена в роках, обчислюється за формулою

$$\Delta t = \frac{T}{2} = \frac{a\sqrt{a}}{2},$$

де a – в астрономічних одиницях. При необхідності Δt переводиться в доби.

При запуску до верхньої планети початкова геліоцентрична швидкість $V_n = v_q$, а при запуску до нижньої планети $V_n = v_Q$, причому в цю швидкість входить орбітальна (колова) швидкість V_I планети запуску. Отже, щоб міжпланетна станція вийшла на розрахункову геліоцентричну орбіту, їй необхідно надати додаткову швидкість

$$v_\partial = V_n - V_I.$$

Але, щоб покинути планету запуску, станція повинна ще подолати її тяжіння, на що потрібна кінетична енергія $\frac{mv_\Pi^2}{2}$, де m – маса станції і v_Π – друга космічна швидкість на поверхні цієї планети. Тому швидкість запуску v_n станції з планети (початкова планетоцентрична швидкість), знайдеться з рівності

$$\frac{mv_n^2}{2} = \frac{mv_\partial^2}{2} + \frac{mv_\Pi^2}{2},$$

звідки

$$v_n = \sqrt{v_\partial^2 + v_\Pi^2}.$$

День запуску t_l міжпланетної станції не може бути довільним і вибирається за відповідною конфігурацією $\Delta\lambda_2$ планети зближення P (див. рис. 23), тому що станція прийде до місця зустрічі або раніше, або пізніше за планету. В планети зближення з сидеричним періодом обертання T_2 середній добовий рух.

$$\omega_2 = \frac{360^\circ}{T_2}$$

і за знайденою тривалістю польоту станції Δt (вираженою в добах) планета повинна прийти в район зустрічі А, пройшовши по своїй орбіті шлях

$$L_2 = \omega_2 \Delta t = \frac{360^\circ}{T_2} \Delta t.$$

Отже, в день t_l старту міжпланетної станції різниця геліоцентричної довготи планети зближення l_2 і планети запуску l_1 повинна бути

$$l_2 - l_1 = 180^\circ - L_2 = 180^\circ - \omega_2 \Delta t$$

і за цією різницею неважко знайти в астрономічному календарі-щорічнику на поточний рік відповідний день t_1 .

Цього дня відстань між планетами

$$\rho = \sqrt{a_1^2 + a_2^2 - 2a_1 a_2 \cos(l_2 - l_1)},$$

а конфігурація $\Delta\lambda_2$ планети зближення обчислюється або з рівності

$$\sin \Delta\lambda_2 = \frac{a_2}{\rho} \sin(l_2 - l_1)$$

або за формулою

$$\operatorname{ctg} \Delta\lambda_2 = \frac{a_1}{a_2} \operatorname{cosec}(l_2 - l_1) - \operatorname{ctg}(l_2 - l_1).$$

Легко побачити, що при $L_2 < 180^\circ$ знайдена елонгація буде західною, а при $L_2 > 180^\circ$ – східною.

Очевидно, міжпланетна станція підійде до планети зближення в день

$$t_2 = t_1 + \Delta t.$$

Приклади розв'язування задач

Приклад 1. Визначити параметри руху супутника, який призначений для дослідження рентгенівського випромінювання Сонця і верхніх шарів земної атмосфери в межах від 200 до 1550 км над земною поверхнею.

Дано: супутник, $h_q = 200$ км, $h_Q = 1550$ км; Земля, $R = 6370$ км, $M = 1$.

Розв'язок.

Велика піввісь орбіти супутника

$$a = R + \frac{h_q + h_Q}{2} = 6370 + \frac{200 + 1550}{2} = 7245 \text{ км},$$

його перигейна відстань

$$q = R + h_q = 6370 + 200 = 6570 \text{ км}$$

і апогейна відстань

$$Q = R + h_Q = 6370 + 1550 = 7920 \text{ км}.$$

Ексцентриситет орбіти,

$$e = 1 - \frac{q}{a} = 1 - \frac{6570}{7245} = 0,093,$$

а період обертання

$$T = 16,58 \cdot 10^{-5} a \sqrt{\frac{a}{M}} = 16,58 \cdot 10^{-5} \cdot 7245 \cdot \sqrt{7245} = 102^{\text{xb}},$$

так як маса Землі $M = 1$.

Колова швидкість супутника

$$v_a = 631,3 \sqrt{\frac{M}{a}} = \frac{631,3}{\sqrt{7245}} = 7,42 \text{ км/с},$$

його швидкість в перигеї

$$v_q = v_a \sqrt{\frac{Q}{q}} = 7,42 \cdot \sqrt{\frac{7920}{6570}} = 8,15 \text{ км/с},$$

і апогеї

$$v_Q = v_a \sqrt{\frac{q}{Q}} = \frac{7,42}{\sqrt{\frac{7920}{6570}}} = 6,76 \text{ км/с}.$$

Супутник пролітає над перигейною півкулею Землі за проміжок часу

$$t = \frac{(1-e)^2 \cdot (3+e)^2}{18\sqrt{1-e^2}} \cdot T = \frac{(1-0,093)^2 \cdot (3+0,093)^2}{18\sqrt{1-0,093^2}} \cdot 102 = 45^{\text{xb}},$$

а впродовж

$$\tau = T - t = 102 - 45 = 57^{\text{xb}}$$

рухається над апогейною півкулею.

Приклад 2. Яку аероцентричну швидкість і на якій максимальній відстані від поверхні Марса потрібно надати космічному апарату, щоб він став штучним супутником планети і обертався навколо неї з періодом $2^{\text{г}}40^{\text{xb}}$ по еліптичній орбіті з ексцентриситетом 0,250? Маса Марса дорівнює 0,107 мас Землі, а його радіус – 3400 км.

Дано: Марс, $M = 0,107$, $R = 3400$ км; супутник, $T = 2^{\text{г}}40^{\text{xb}} = 160^{\text{xb}}$, $e = 0,250$.

Розв'язок.

В орбіті штучного супутника велика піввісь

$$a = 331,2\sqrt[3]{MT^2} = 331,2\sqrt[3]{0,107 \cdot 160^2} = 4650 \text{ км},$$

відстань апоарію

$$Q = a(1 + e) = 4650 \cdot 1,250 = 5810 \text{ км},$$

звідки максимальна відстань від поверхні планети

$$h_Q = Q - R = 5810 - 3400 = 2410 \text{ км}.$$

Колова швидкість супутника

$$v_a = 631,3\sqrt{\frac{M}{a}} = 631,3\sqrt{\frac{0,107}{4650}} = 3,04 \text{ км/с}$$

і тоді, шукана швидкість в апоарії

$$v_Q = v_a \sqrt{\frac{1-e}{1+e}} = 3,04 \sqrt{\frac{1-0,250}{1+0,250}} = 2,35 \text{ км/с}.$$

Приклад 3. З'ясувати обставини польоту міжпланетного корабля з Венери до Юпітера. Середня геліоцентрична відстань Юпітера – 5,203 а.о., а Венери – 0,723 а.о. Друга космічна швидкість на поверхні Венери 10,36 км/с; середній добовий хід Юпітера $0^\circ,0831$.

Дано: планета запуску, Венера, $a_1 = 0,723$ а.о., $v_{II} = 10,36$ км/с; планета зближення, Юпітер, $a_2 = 5,203$ а.о., $\omega_2 = 0^\circ,831 \approx 5'$.

Розв'язок.

Оскільки корабель стартує з нижньої планети до верхньої, то запуск відбувається в перигелії (див. рис. 23), і перигелійна відстань корабля $q = a_1 = 0,723$ а.о., афелійна відстань $Q = a_2 = 5,203$ а.о., велика піввісь орбіти

$$a = \frac{q + Q}{2} = \frac{0,723 + 5,203}{2} = 2,963 \text{ а.о.},$$

ексцентриситет орбіти

$$e = 1 - \frac{q}{a} = 1 - \frac{0,723}{2,963} = 0,756$$

і тривалість польоту до Юпітера

$$t = \frac{a\sqrt{a}}{2} = \frac{2,963}{2} \sqrt{2,963} = 2,55 \text{ р.}$$

Геліоцентрична колова швидкість корабля

$$V_a = \frac{29,8}{\sqrt{a}} = \frac{29,8}{\sqrt{2,963}} = 17,3 \text{ км/с},$$

а швидкість в перигелії, вона ж початкова геліоцентрична швидкість корабля,

$$V_n = v_q = V_a \sqrt{\frac{Q}{q}} = 17,3 \sqrt{\frac{5,203}{0,723}} = 46,4 \text{ км/с}.$$

Оскільки орбітальна швидкість Венери

$$V_1 = \frac{29,8}{\sqrt{a_1}} = \frac{29,8}{\sqrt{0,723}} = 35,0 \text{ км/с},$$

то додаткова швидкість

$$v_o = V_n - V_1 = 46,4 - 35,0 = 11,4 \text{ км/с},$$

звідки швидкість запуску корабля з Венери

$$v_n = \sqrt{v_o^2 + v_{II}^2} = \sqrt{11,4^2 + 10,36^2} = 15,4 \text{ км/с}.$$

За проміжок часу $\Delta t = 2,55$ роки $= 2,55 \cdot 365$ діб Юпітер пройде по своїй орбіті шлях

$$L_2 = \omega_2 \Delta t = 0^\circ,0831 \cdot 2,55 \cdot 365 = 77^\circ,4,$$

і тому в день старту корабля різниця геліоцентричної довготи Юпітера і Венери

$$l_2 - l_1 = 180^\circ - L_2 = 180^\circ - 77^\circ,4 = 102^\circ,6,$$

а конфігурація $\Delta \lambda_2$ Юпітера, яка спостерігається з Венери, знаходиться за формулою:

$$ctg \Delta \lambda_2 = \frac{0,723}{5,203} \operatorname{cosec} 102^\circ,6 - ctg 102^\circ,6 = +0,3659,$$

звідки $\Delta \lambda_2 = 69^\circ,9$. Оскільки $L_2 = 77^\circ,4 < 180^\circ$, то знайдена конфігурація – західна елонгація.

Задачі для самостійного розв'язування

475. Визначити швидкість запуску і періоди обертання штучних супутників Землі, які рухаються навколо неї по

колових орбітах на відстанях половини і двох її радіусів від поверхні.

476. Розв'язати попередню задачу для штучних супутників Марса і Юпітера. Маса й радіуси в порівнянні з земними: Марса – 0,107 і 0,533, Юпітера – 318 і 10,9.
477. Як зміняться періоди і швидкість обертання супутників з попереднього завдання, якщо маса центрального тіла зросте в n разів, а їх радіус – в m разів і у випадку $m = n$.
478. На якій висоті над землею поверхнею і з якою швидкістю рухаються по колових орбітах штучні супутники з періодами обертання $90^{\text{хв}}$, $150^{\text{хв}}$ і $3^{\text{г}}$? Радіус Землі – 6370 км.
479. Обчислити висоту над землею поверхнею і швидкість стаціонарного штучного супутника, тобто супутника, який нерухомо висить над однією і тією ж точкою земного екватора.
480. Розв'язати попередню задачу для стаціонарних штучних супутників планет, зазначених у завданні 476. Період обертання Марса – $24^{\text{г}}37^{\text{хв}},4$, а Юпітера – $9^{\text{г}}50^{\text{хв}},5$.
481. Знайти швидкість і періоди обертання штучних супутників на висотах 200 км і 1000 км над поверхнею Землі, Місяця, Марса і Юпітера. Маса цих небесних тіл в тій же послідовності дорівнюють 1, 0,0123, 0,107 і 318, а радіуси – 6370, 1738, 3400 і 71400 км.
482. На скільки градусів і в якому напрямку повинна зміщуватися траєкторія польоту полярних штучних супутників за один оберт при їх русі по колових орбітах зі швидкістю 7 км/с і 2 км/с навколо Землі, Меркурія і Венери? Період обертання Меркурія – $58^{\text{д}},65$, а Венери – $243^{\text{д}},2$. Необхідні відомості див. в задачі 484.
483. По яких орбітах будуть рухатися штучні небесні тіла, запущені з горизонтальною швидкістю 9,5 км/с на висоті 200 км над поверхнею Землі, Марса і Юпітера? Необхідні відомості запозичити із завдання 481.
484. На якій мінімальній висоті і з якою швидкістю повинні бути виведені на еліптичні орбіти з ексцентриситетом 0,1 і 0,6 штучні супутники, щоб вони оберталися з періодами $2^{\text{г}}$ і $8^{\text{г}}$ навколо Меркурія і Венери, маси яких, в

- порівнянні із земною, відповідно 0,055 та 0,815, а радіуси – 2440 км і 6050 км?
485. Яку частину свого періоду обертання пролітають над перицентричною і апоцентричною півкулями планет штучні супутники при ексцентриситетах їх орбіт 0,1 і 0,4?
486. Скільки часу пролітали над перигейною і апогейною півкулями орбітальна станція і супутник зв'язку, якщо орбітальна станція оберталася в межах висот від 258 км до 283 км, а супутник зв'язку – по орбіті з великої піввіссю 27030 км і висотою апогею 40860 км?
487. Знайти масу Місяця (в масах Землі) за рухом її штучних супутників, які оберталися над місячною поверхнею в межах висот: від 77 км до 385 км, з періодом $2^{\text{г}}11^{\text{хв}}$; від 21 км до 100 км, з періодом в $1^{\text{г}}54^{\text{хв}}$. Діаметр Місяця – 3476 км.
488. За даними і результатом попередньої задачі розрахувати колову і граничні селеноцентричні швидкості супутників Місяця.
489. Визначити масу Марса за рухом його природного супутника Деймоса і штучного супутника. Деймос обертається навколо планети з періодом $1^{\text{д}}262$ на середній відстані 23500 км, а штучний супутник – з періодом $25^{\text{г}}$, в межах висоти над поверхнею планети від 1760 км до 32500 км. Радіус Марса – 3400 км.
490. Автоматична міжпланетна станція обертається навколо планети з періодом $49^{\text{г}}23^{\text{хв}}$ в межах від 1400 км до 114000 км над її поверхнею. Визначити масу Венери, прийнявши її радіус 6050 км.
491. Перший в історії людства обліт Землі був здійснений в межах висоти від 181 км до 327 км над земною поверхнею. Визначити велику піввісь і ексцентриситет орбіти корабля, період його обертання навколо Землі, його середню і граничні швидкості, а також тривалість польоту над перигейною і апогейною півкулями Землі.
492. Розв'язати попередню задачу для супутника зв'язку, виведеного на орбіту навколо Землі в межах висоти від 500 до 39100 км.

493. Як змінилися б параметри польоту супутника зв'язку попередньої задачі, якщо б він в межах тієї ж висоти обертався навколо Меркурія і Юпітера? Необхідні дані запозичити із завдань 481 і 484.
494. Супутник зв'язку, виведений на орбіту з висотою перигею 636 км над південною півкулею Землі, обертається навколо планети з періодом $12^{\text{г}}16^{\text{хв}}$. Знайти велику піввісь і ексцентриситет орбіти супутника, його апогейну висоту, швидкість в перигеї і апогеї та тривалість польоту над протилежними півкулями Землі.
495. Обчислити всі основні параметри польоту штучного супутника Місяця, якщо він обертався з періодом $2^{\text{г}}2^{\text{хв}}$ і піднімався в апоселенії на висоту 244 км над місячною поверхнею. Відомості про Місяць запозичити з завдання 481.
496. Визначити велику піввісь і ексцентриситет найпростішої еліптичної орбіти космічного корабля, тривалість його польоту від Землі до Марса і швидкість запуску із Землі, якщо середня геліоцентрична відстань Марса 1,524 а.о. Середня орбітальна швидкість Землі 29,8 км/с.
497. За даними й результатами попередньої задачі знайти конфігурацію Марса, найбільш сприятливу для запуску до нього з Землі космічного корабля. Період обертання Марса навколо Сонця дорівнює 687 діб.
498. Обчислити швидкість запуску космічного корабля з Марса для польоту до Землі за найпростішою орбітою і найбільш сприятливу для цього конфігурацію Землі. Середня геліоцентрична відстань Марса – 1,524 а.о., його маса – 0,107 і радіус – 0,533 в порівнянні з земними.
499. За даними й результатами завдань 496-498 знайти найменшу тривалість подорожі із Землі на Марс і з Марса на Землю (відповідні дати для старту кораблів встановити за календарями-щорічниками).
500. Визначити параметри, зазначені в задачах 496-498 для польоту космічного корабля із Землі до Венери і з Венери до Землі. Середня геліоцентрична відстань Венери 0,723 а.о., її маса – 0,815 і радіус – 0,95 в порівнянні з земними.

§10. Притягання і тяжіння

Знаючи масу M і радіус R небесного тіла, можна обчислити прискорення сили тяжіння g на його поверхні, причому найзручніше обчислювати g в порівнянні з прискоренням g_{\oplus} на Землі, а потім вже знайти його абсолютне значення.

Згідно закону Всесвітнього тяжіння, на поверхні сфероїдального небесного тіла масою M і радіусом R гравітаційне прискорення

$$g = G \frac{M}{R^2},$$

а на поверхні Землі те ж прискорення

$$g_{\oplus} = G \frac{M_{\oplus}}{R_{\oplus}^2},$$

звідки, поділивши першу рівність на другу, отримаємо:

$$g = g_{\oplus} \frac{M}{M_{\oplus}} \left(\frac{R_{\oplus}}{R} \right)^2 \quad \text{або} \quad g = g_{\oplus} \frac{M}{R^2},$$

де M виражена в масах Землі, а R – в радіусах Землі.

Аналогічним чином обчислюється гравітаційне прискорення g_r небесних тіл в полі тяжіння центрального тіла на відстані r від нього

$$g_r = G \frac{M + m}{r^2}$$

або

$$g_r = G \frac{M}{r^2} \left(g_r = \frac{g}{\left(\frac{r}{R} \right)^2} \right), \quad \text{якщо} \quad m \ll M.$$

Ця формула дозволяє також обчислити масу центрального тіла за відомим гравітаційним прискоренням g_r .

Приклади розв'язування задач

Приклад 1. Знайти гравітаційне прискорення, яке надає Юпітер своєму другому супутнику Європі, який знаходиться від планети на середній відстані 670,9·

10^3 км. Маса Юпітера в 318 разів більша за земну, а середній радіус Землі дорівнює 6371 км.

Дано: супутник, $r = 670,9 \cdot 10^3$ км; Юпітер, $M = 318$; Земля, $R_{\oplus} = 6371$ км.

Розв'язок.

Шукане прискорення

$$g_r = g \frac{R^2}{r^2}, \text{ а } g = g_{\oplus} \frac{M}{R^2},$$

де $g_{\oplus} = 9,81 \text{ м/с}^2$ — прискорення вільного падіння на земній поверхні.

Тоді

$$g_r = g_{\oplus} \frac{M}{R^2},$$

причому r виражений в радіусах Землі, а маса M — в масах Землі.

Оскільки середній радіус Землі $R_{\oplus} = 6371$ км, то шукане гравітаційне прискорення

$$g_r = 9,81 \frac{318}{\left(\frac{670,9 \cdot 10^3}{6371} \right)^2} = 0,281 \text{ м/с}^2.$$

Задачі для самостійного розв'язування

501. Що більше: прискорення, що надає Земля Сонцю чи прискорення, що надає Земля Місяцю, і у скільки разів?
502. Якщо у астероїда діаметр складає 0,01 діаметра Землі, а густина дорівнює середній густині Землі, то яка сила тяжіння на його поверхні в порівнянні із земною?
503. Якщо на Землі людина, стрибаючи вертикально вгору, тримається в повітрі 1 секунду, скільки б вона при такому ж стрибку протрималася, не торкаючись поверхні астероїда з попередньої задачі?
504. Радіус Місяця 1740 км, а його маса становить 1/81 маси Землі. Яка довжина секундного маятника на поверхні Місяця і який період коливань мав би на Місяці земний секундний маятник? Величина прискорення сили тяжіння на поверхні Землі $9,81 \text{ м/с}^2$, а її радіус 6371 км.

505. З якою швидкістю снаряд, що вилітає з гармати на Землі зі швидкістю 900 м/с, вилетить з нього на Місяці, де всі тіла важать в 6 разів менше, ніж на Землі?
506. Обчислити прискорення сили тяжіння на поверхні Марса, якщо його середній радіус 3390 км, а його маса $6,4 \cdot 10^{25}$ кг.
507. Яке прискорення сили тяжіння на поверхні Сонця, якщо його радіус в 109 разів більший радіуса Землі, а густини Сонця і Землі відносяться як 1:4?
508. Якщо подвоїти діаметр Сонця, не змінюючи його середню густину, то як зміниться прискорення сили тяжіння на його поверхні?
509. Яким стало б прискорення сили тяжіння на поверхні Сонця, якби, зберігаючи сучасну масу ($1,98 \cdot 10^{30}$ кг), воно збільшилося в діаметрі до розміру земної орбіти?
510. Визначити прискорення сили тяжіння на поверхні Юпітера в порівнянні з його величиною на земній поверхні, знаючи, що маса Юпітера в 317 разів, а його радіус в 11 разів більші, ніж у Землі.
511. Визначити прискорення вільного падіння на поверхні планет Марса і Венери, а також астероїда Церери. Маса й радіуси в порівнянні з земними: у Марса – 0,107 і 0,533, у Венери – 0,815 і 0,950, у Церери – $28,9 \cdot 10^{-5}$ і 0,0784.
512. Маса Місяця у 81,3 рази, а діаметр в 3,67 рази менше земних. У скільки разів вага космонавтів буде меншою на Місяці, ніж на Землі?
513. Яке прискорення вільного падіння на поверхні Сонця і Сатурна, радіуси яких більші земного відповідно в 109,1 і 9,08 рази, а середня густина в порівнянні із землею становить 0,255 і 0,127?
514. Яке прискорення вільного падіння було б на поверхні Землі та Марса, якби при незмінній масі їх діаметри збільшилися вдвічі і втричі? Маса й радіус в Марса у порівнянні з земними – 0,107 і 0,533.
515. Як змінилося б прискорення вільного падіння на поверхні планети при збільшенні її маси в m разів, а середньої густини в n разів і, зокрема, при $m = n$?

516. Яким стало б прискорення вільного падіння на поверхні Сонця, якби при тій же масі воно збільшилося в діаметрі до розмірів земної орбіти? Маса Сонця в 333000 разів більша земної, а його діаметр дорівнює 1392000 км.
517. За даними попередньої задачі знайти гравітаційне прискорення Землі в полі тяжіння Сонця.
518. Як змінилося б прискорення вільного падіння на Землі при незмінній масі і збільшенні її розмірів у 60,3 рази, тобто до орбіти Місяця?
519. Обчислити гравітаційне прискорення Місяця в полі тяжіння Землі і Сонця при його середній геоцентричній відстані 384400 км.
520. Як змінилося б гравітаційне прискорення Місяця в полі тяжіння Землі, якби маса Землі збільшилася в m разів, а Місяць перебував в n разів далше (ближче), ніж зараз, і, зокрема, при $m = n$?
521. У яких межах змінюється гравітаційне прискорення Меркурія ($a = 0,387$ а.о., $i e = 0,206$), Плутона ($a = 39,5$ а.о. $i e = 0,253$) і комети Галлея ($a = 18,0$ а.о., $i e = 0,967$)?
522. У яких межах змінюється гравітаційне прискорення супутника, який облітає Землю в межах висот від 636 км до 40660 км над земною поверхнею? Радіус Землі – 6370 км.
523. Розв'язати попередню задачу для космічної станції, яка була виведена на геоцентричну орбіту з великою піввіссю 106670 км і висотою перигею 590 км.
524. Знайти гравітаційне прискорення двох галілеєвих супутників Юпітера Іо і Калісто, які обертаються навколо планети на середніх відстанях 5,92 і 26,41 її радіуса. Маса Юпітера в 318 разів, а радіус в 10,9 разів більші аналогічних земних.
525. Вказати розташування загального центру мас Землі і Місяця, якщо радіус Землі 6370 км, маса Місяця дорівнює $1/81$ земної маси і відстань між тілами – 60 земних радіусів.
526. Знайти положення точки між Землею і Місяцем, в якій гравітаційні прискорення від цих тіл чисельно рівні між собою, але протилежно направлені. Радіус Землі 6370 км,

- маса Місяця дорівнює $1/81$ земної маси і відстань між тілами – 60 земних радіусів.
527. Екваторіальний радіус Юпітера $R = 71300$ км, а відстань від його центру до четвертого супутника дорівнює nR (де $n = 26,4$), час його обертання становить 16,69 діб. Обчислити, виходячи з цих даних, прискорення g на поверхні Юпітера.
528. Порівняти прискорення сили тяжіння, що створюється Сонцем на поверхні самого Сонця і на відстані Землі від Сонця, якщо відомі радіус Сонця $7 \cdot 10^5$ км та радіус земної орбіти $1,5 \cdot 10^8$ км?
529. Визначити діаметр, об'єм і густину Нептуна та прискорення сили тяжіння на його поверхні, вважаючи: середній видимий діаметр $2''{,}3$, маса планети в 17,2 разів більша маси Землі, паралакс Сонця $8''{,}8$, середня відстань Нептуна від Сонця 30,1 а.о.
530. Обчислити гравітаційну сталу, вважаючи густину Землі $5,5 \text{ г/см}^3$, земний радіус 6371 км, а прискорення сили тяжіння $9,81 \text{ м/с}^2$.
531. Визначити відстань від Землі до Місяця, якщо відомо: радіус Землі 6370 км, середня густина Землі $5,5 \text{ г/см}^3$, період обертання Місяця 27,32 доби.
532. Місяць в апогеї на $1/9$ далше, ніж в перигеї. На скільки відсотків в перигеї більша приливна сила?

III. ТЕЛЕСКОПИ

§11. Характеристики телескопів

Основними характеристиками телескопа є його *фокусна відстань* F , *діаметр об'єктиву* D і *відносний отвір*

$$A = D/F ,$$

який часто називають *світлосилою*.

Найпростіший телескоп для візуальних спостережень складається з *об'єктива* (лінзового, дзеркального або дзеркально-лінзового) і *окуляра* (рис. 24). Об'єктив будує зображення певного об'єкта або ділянки зоряного неба у фокальній площині. Окуляр, який виконує роль лупи, дає змогу наблизитися до зображення цього об'єкта ближче, ніж на відстань найліпшого бачення (25 см) і розглядати його під більшим кутом зору.

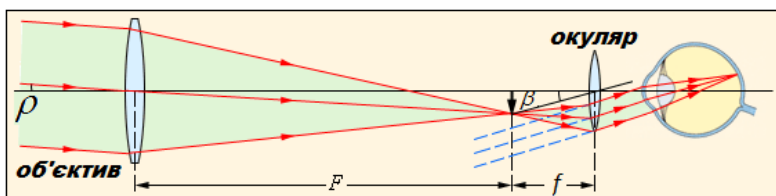


Рис. 24. Будова та принцип дії телескопа

Збільшення телескопа

$$\Gamma = \frac{F}{f} = \frac{\beta}{\rho} ,$$

де f – фокусна відстань окуляра, ρ – кутові розміри світила при спостереженні неозброєним оком і β – кутові розміри того ж світила при спостереженні в телескоп. Кратність збільшення зазвичай позначається знаком \times , що проставляється біля числа у вигляді показника степеня (наприклад, 50^\times , 120^\times і т. д.).

Найбільше збільшення, що допускається телескопом за хороших атмосферних умов

$$\Gamma_{\max} = 2D ,$$

а найменше збільшення

$$\Gamma_{\min} = \frac{D}{6} ,$$

де D – діаметр об'єктиву, виражений в міліметрах.

Роздільна здатність (або роздільна сила) телескопа α характеризується найменшою кутовою відстанню між двома точковими об'єктами, при якій вони ще не зливаються один з одним:

$$\alpha = \frac{140''}{D(\text{мм})} = \frac{14''}{D(\text{см})},$$

а збільшення, що їй відповідає – роздільне збільшення

$$\Gamma_{\alpha} = \frac{D}{2},$$

де D – діаметр об'єктиву, виражений в міліметрах.

Проникна здатність (сила) телескопа m_{Γ} – гранична зоряна величина зір, які доступні спостереженням в телескоп в темну, безхмарну ніч:

$$m_{\Gamma} = 2,^m 10 + 5 \lg D \quad (D \text{ в міліметрах})$$

або

$$m_{\Gamma} = 7^m + 5 \lg D \quad (D \text{ в сантиметрах}).$$

Зображення світила (або відстані між світилами) у фокальній площині телескопа (у фокусі телескопа), у тому числі і на отриманих в ній фотонегативах, має лінійні розміри

$$d = F \cdot \operatorname{tg} \rho'.$$

Якщо ρ' не перевищує 5° і виражений в хвилинах дуги, то

$$d = \frac{F}{3438} \cdot \rho',$$

а якщо ρ'' виражений в секундах дуги, то

$$d = \frac{F}{206265} \cdot \rho''.$$

Тоді кутовий масштаб фотонегатива

$$\xi' = \frac{\rho'}{d} \quad ('/\text{мм})$$

або

$$\xi'' = \frac{\rho''}{d} \quad (''/\text{мм}),$$

а лінійний масштаб

$$\xi = \frac{R}{d},$$

де R – лінійні розміри світила.

Діаметр поля зору N телескопа, виражений в хвилинах дуги, може бути визначений теоретично за формулою

$$N = \frac{2000'}{G}.$$

Практично той же діаметр визначається за проходженням зірки у полі зору нерухомого телескопа. Для цього зірка з відомим схиленням δ встановлюється на самий край поля зору телескопа так, щоб при нерухомому телескопі вона пройшла по всьому діаметру поля зору. Відзначивши за секундоміром моменти появи T_1 і зникнення T_2 зірки у полі зору телескопа, знаходять

$$N = \frac{T_2 - T_1}{4} \cdot \cos \delta = \frac{\tau}{4} \cdot \cos \delta,$$

де τ – тривалість проходження зірки в секундах, виражена в секундах часу, а N – у хвилинах дуги.

В радіотелескопа і радіоінтерферометра роздільна здатність

$$\alpha = 2'',51 \cdot 10^5 \frac{\lambda}{D} = 4200' \frac{\lambda}{D},$$

де λ – довжина радіохвилі і D – діаметр радіотелескопа (або відстань між радіотелескопами, які утворюють радіоінтерферометр).

Степінь реагування радіоприймального пристрою на радіосигнали характеризується чутливістю

$$\Delta T = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{T_{ш}}{\sqrt{\tau_0 \Delta \nu}},$$

яка визначається шумовою температурою $T_{ш}$, сталою часу τ_0 (час спрацьовування записуючого приладу) в секундах і смугою пропускання $\Delta \nu$ в герцах.

Приклади розв'язування задач

Приклад 1. Кутовий діаметр Венери поблизу її найбільшої елонгації дорівнює $25''$. Який окуляр потрібно використати, щоб при спостереженні в телескоп з фокусною відстанню об'єктива 10,8 м Венера мала розміри Місяця, кутовий діаметр якого $32''$. Яким буде діаметр зображення планети на негативі,

отриманому в фокусі телескопа? Знайти масштаб негатива, знаючи, що діаметр Венери – 12100 км.

Дано: $F = 10,8 \text{ м} = 1080 \text{ см}$; Венера, $\rho = 25''$, $R = 12100 \text{ км}$;
 $\beta = 32'' = 1920''$

Розв'язок.

Використовуючи формули:

$$W = \frac{F}{f} = \frac{\beta}{\rho}, d = F \frac{\rho'}{3438'}, \xi'' = \frac{\rho''}{d}, \xi = \frac{R}{d}$$

отримаємо:

збільшення

$$W = \frac{\beta}{\rho} = \frac{1920''}{25''} = 77\times;$$

окуляр з фокусною відстанню

$$f = \frac{F}{W} = \frac{1080}{77}; f = 14,0 \text{ см} = 140 \text{ мм};$$

діаметр зображення планети на фотонегативі

$$d = F \frac{\rho''}{206265''} = 1080 \cdot \frac{25''}{206265''}; d = 0,13 \text{ см} = 1,3 \text{ мм};$$

кутовий масштаб негатива

$$\xi'' = \frac{\rho''}{d} = \frac{25''}{1,3} = 19'',2 \text{ мм}^{-1};$$

лінійний масштаб

$$\xi = \frac{R}{d} = \frac{12100}{1,3}; \xi = 9300 \frac{\text{км}}{\text{мм}}.$$

Задачі для самостійного розв'язування

533. Яка роздільна і проникна сила телескопа з об'єктивом 8 см?
534. Визначити, яка кутова відстань між двома зорями, які ледь розділені в телескопі, діаметр об'єктива якого 60,96 см?
535. Яка роздільна і проникна сила телескопа з об'єктивом діаметром 75 см?
536. Яке потрібно застосувати збільшення, щоб при спостереженні Юпітер (40") був за розміром такий же, як Місяць для неозброєного ока?
537. Якщо окуляр з фокусною відстанню об'єктива 60 см дає збільшення в 200 разів, то яке збільшення він дасть, якщо фокусна відстань об'єктива буде 12 м?
538. Якщо окуляр з об'єктивом з фокусною відстанню 1 м дає збільшення в 50 разів, то яке збільшення дасть той же окуляр з об'єктивом з фокусною відстанню 5 м?

539. Рефрактор має фокусну відстань 19,5 м. Яка фокусна відстань окулярів, що дають на цьому рефракторі збільшення в 300, 1000 і 3000 разів?
540. Який діаметр буде мати зображення Сонця (видимий діаметр 32') у фокусі об'єктива з фокусною відстанню 40 см?
541. Якщо кутовий діаметр Місяця 31', то який буде діаметр його зображення в фокусі об'єктива з фокусною відстанню 254 см?
542. Визначити відносний отвір, роздільну та проникну здатність, найбільше і найменше збільшення двох телескопів, одного з об'єктивом діаметром 37,5 см і фокусною відстанню 6 м, а іншого з об'єктивом діаметром 1 м і фокусною відстанню 8 м.
543. Знайти збільшення і діаметр поля зору двох телескопів, одного з об'єктивом діаметром 30 см і світлосилою 1:5, а іншого діаметром 91 см і світлосилою 1:19, при окулярах з фокусними відстанями 40 мм і 10 мм.
544. Яка світлосила, роздільна та проникна здатність, найбільше і найменше збільшення телескопа Максудова і телескопа-рефрактора, якщо перший має діаметр 70 мм і фокусну відстань 70,4 см, а другий – діаметр 80 мм і фокусну відстань 80 см?
545. Дізнатися збільшення і діаметр поля зору телескопів попередньої задачі при окулярах з фокусними відстанями 28 мм, 20 мм і 10 мм.
546. Яке збільшення і поле зору дадуть окуляри шкільних телескопів, зазначені в попередній задачі, при їх використанні для спостережень в телескопи з об'єктивами діаметром 65 см і світлосилою 1:16 і 33 см і 1:10,5?
547. Чи має сенс використовувати окуляр з фокусною відстанню 5 мм при спостереженнях в телескопи з фокусною відстанню 1,25 м і світлосилою 1:5 і з фокусною відстанню 7,50 м і світлосилою 1:15?
548. Яка мінімальна кутова відстань між компонентами подвійної зірки може бути, щоб їх можна було побачити в телескопи з об'єктивами діаметром 20 см і 1 м?

549. Визначити мінімальну кутову відстань між компонентами подвійних зір, доступних спостереженням в телескопи з об'єктивами діаметром 70 мм і 8 см.
550. Які найменші кутові відстані між компонентами подвійних зір можуть бути дозволені телескопами, одним з фокусною відстанню і світлосилою об'єктива 1 м і 1:10, а іншим з фокусною відстанню 14 м і світлосилою 1:16? Окуляри з якими фокусними відстанями повинні бути для цього застосовані?
551. У телескопи якого найменшого діаметру можна бачити подвійні зірки β Лебеда (35"), ζ Великої Ведмедиці (14") і γ Діви (5",0) і яке при цьому має бути застосоване мінімальне збільшення?
552. Чи можна в телескопи шкільного типу бачити диски планет Марса, Урана і Нептуна, якщо кутові діаметри цих планет в середньому протистоянні відповідно дорівнюють 18", 4", і 2",5? Діаметр об'єктиву меніскового телескопа дорівнює 70 мм, а шкільного телескопа-рефрактора – 80 мм.
553. Чому дорівнює фокусна відстань об'єктива, що дає зображення Місяця діаметром 15 мм?
554. Марс при наближенні до Землі має кутовий діаметр 25". Який буде діаметр фотографічного зображення, отриманого за допомогою рефрактора з фокусною відстанню 19,5 м?
555. Діаметр телескопа дорівнює 1,25 м, його світлосила 0,2. Який у його фокусі лінійний діаметр зображення Марса, якщо його кутовий діаметр 25"?
556. Кутовий діаметр Юпітера в протистоянні дорівнює 49", а кутовий діаметр Венери в нижньому сполученні – близько 60". Які збільшення необхідно застосувати для того, щоб в телескоп диски цих планет було видно розміром з Місяць для неозброєного ока, якщо діаметр місячного диска 0°,5?
557. Визначити лінійний діаметр фотографічних зображень Марса і Місяця, а також масштаби цих негативів, отриманих у фокусі рефрактора з об'єктивом 20 см і світлосилою 1:15 і в фокусі рефлектора з фокусною відстанню 24 м. Кутові розміри цих світил відповідно

25" і 32', а лінійний радіус Місяця – 3476 км і Марса – 6800 км.

558. Обчислити масштаб негативів і лінійні діаметри зображень Марса та Місяця при їх фотографуванні у фокусі телескопа-рефрактора, діаметр об'єктива якого дорівнює 8 см і світлосила – 1:10. Кутові розміри цих світил прийняти відповідно 25" і 32', а лінійний радіус Місяця – 3476 км і Марса – 6800 км.
559. Об'єктив астрографа має діаметр 33 см, а масштаб негативів, експонованих в його фокусі – $1' \text{ мм}^{-1}$. Знайти фокусну відстань і світлосилу астрографа, а також лінійні розміри на негативах (знятих в фокусі) відстані між компонентами подвійної зірки β Лебедя, кутова відстань між компонентами яких 35".
560. Скільки часу видно зорі в полі зору нерухомого телескопа при збільшенні в 100 разів, якщо схилення цих зір відповідно $-0^{\circ}03'$, $+45^{\circ}58'$ і $+89^{\circ}02'$?
561. Зірка Ригель (β Оріона), схилення якої $-8^{\circ}15'$, проходить діаметр поля зору нерухомого телескопа за 1 хв. Знайти збільшення і діаметр поля зору телескопа при цьому збільшенні.
562. Зірка Сиріус із схиленням $-16^{\circ}39'$ спостерігається в телескоп з діаметром об'єктива 20 см і світлосилою 1:15. При одному окулярі ця зірка проходить діаметр поля зору за $1^{\text{хв}}53^{\text{с}}$, а при іншому – за 38 $^{\text{с}}$. Визначити фокусну відстань окуляра і діаметр поля зору телескопа при їх застосуванні.
563. При окулярі з фокусною відстанню 32 мм збільшення телескопа-рефрактора 325 \times . Визначити діаметр, фокусну відстань і світлосилу об'єктива телескопа, його роздільну та проникну здатність, найбільше і найменше збільшення, поле зору при зазначених трьох збільшеннях і тривалість проходження по його діаметру зір, схилення яких відповідно $+62^{\circ}1'$ і $+5^{\circ}21'$.
564. Порівняти роздільну здатність шестиметрового телескопа-рефлектора і радіотелескопів з антенами діаметром D, що працюють на довжині радіохвилі λ : 1) D = 22 м, λ = 65 см; 2) D = 100 м, λ = 10 см; 3) D = 1000 м, λ = 10 м.

565. Знайти роздільну здатність радіоінтерферометрів, що складаються з двох радіотелескопів із взаємною відстанню 100 км, 1000 км і 9000 км і приймають радіохвилі, зазначені в попередній задачі.
566. Обчислити чутливість приймача радіотелескопу зі смугою пропускання $\Delta\nu$, сталою часу τ_0 і шумовою температурою $T_{\text{ш}}$: 1) $\Delta\nu = 10^5$ Гц, $\tau_0 = 10^\circ$ і $T_{\text{ш}} = 250^\circ$ К; 2) $\Delta\nu = 10^4$ Гц, $\tau_0 = 3^\circ$ і $T_{\text{ш}} = 200^\circ$ К; 3) $\Delta\nu = 10^6$ Гц; $\tau_0 = 20^\circ$ і $T_{\text{ш}} = 310^\circ$ К.
567. Визначити шумову температуру приймача телескопа зі смугою пропускання $\Delta\nu$, сталою часу τ_0 і чутливістю ΔT : 1) $\Delta\nu = 10^6$ Гц, $\tau_0 = 6^\circ$ і $\Delta T = 0^\circ, 20$; 2) $\Delta\nu = 10^5$ Гц, $\tau_0 = 10^\circ$ і $\Delta T = 0^\circ, 39$; 3) $\Delta\nu = 10^4$ Гц, $\tau_0 = 4^\circ$ і $\Delta T = 2^\circ, 2$.

IV. ОСНОВИ АСТРОФІЗИКИ І ЗОРЯНОЇ АСТРОНОМІЇ

§12. Блиск світил. Річний паралакс

Блиск E (*блиском* небесного світила називається освітленість, яку це світило створює у пункті спостереження на площині, перпендикулярній до його променів) світила характеризується його видимою зоряною величиною m .

Одне і те ж світило може мати різну видиму зоряну величину залежно від способу її визначення: візуальну зоряну величину m_v , фотографічну зоряну величину m_{pg} , фотовізуальну зоряну величину m_{pv} , фотоелектричні зоряні величини V (жовту), B (синю) і U (ультрафіолетову), болометричну m_b .

Відношення блиску E_1 і E_2 двох світил пов'язане з їх видимими зоряними величинами m_1 і m_2 *формулою Погсона*, яку можна подати в кількох варіантах і застосовувати будь-який з них, в залежності від конкретної задачі:

$$\lg \frac{E_1}{E_2} = 0,4(m_2 - m_1), \quad \frac{E_1}{E_2} = 2,512^{m_2 - m_1} = 10^{0,4(m_2 - m_1)},$$

$$m_2 - m_1 = -2,5 \lg \left(\frac{E_2}{E_1} \right).$$

Різниця

$$C = m_{pg} - m_v = m_{pg} - m_{pv}$$

називається *звичайним показником кольору*, різниця $(B-V)$ – *основним показником кольору*, а різниця $(U-V)$ або $(U-B)$ – *ультрафіолетовим показником кольору*.

Планети і їх супутники світять відбитим сонячним світлом і тому при повній фазі їх блиск

$$E = kA \frac{d^2}{r^2 \rho^2},$$

де k – коефіцієнт, що враховує освітленість Сонцем і систему одиниць вимірювань, A – сферичне альbedo (*сферичне альbedo* показує, яку частину падаючого світла відбиває тіло), d – лінійний діаметр, r – геліоцентрична відстань і ρ – відстань від спостерігача (ці відстані виражаються або в кілометрах, або в астрономічних одиницях 1 а.о. = $149,6 \cdot 10^6$ км).

Внаслідок обертання Землі навколо Сонця близька зоря зміщується на загальному фоні зір.

Річним паралаксом називається кут π , під яким з зорі було б видно радіус земної орбіти a (рис. 25).

Як виявилося, навіть для найближчих зір $\pi < 1''$. Тому аналогічно до добового паралаксу неважко записати формулу для визначення відстані до зорі r , річний паралакс π якої виміряний, у вигляді:

$$r = 206265'' \frac{a}{\pi''}.$$

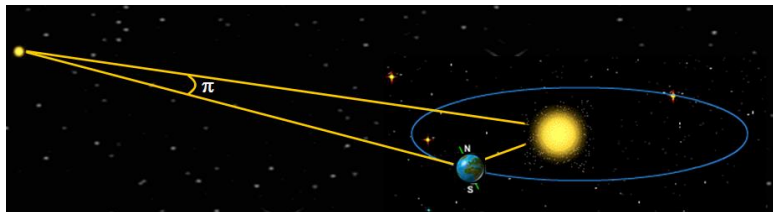


Рис. 25. Річний паралакс світила

Відстань, з якої радіус земної орбіти видно під кутом $\pi = 1''$, називається парсеком.

$$1 \text{ парсек (пк)} = 3,26 \text{ св. року} = 206265 \text{ а.о.}$$

Відстань r зірки, виражена в парсеках, і її річний паралакс π , виміряний в секундах дуги, пов'язані співвідношенням

$$r = \frac{1}{\pi''}.$$

Оскільки блиск E зірки прямо пропорційний її світності L (світністю зорі називається повна кількість енергії, що її випромінює зоря з усієї своєї поверхні за одиницю часу) і обернено пропорційний квадрату відстані r від спостерігача, то відношення світності двох зір:

$$\frac{L_1}{L_2} = \frac{E_1}{E_2} \cdot \frac{r_1^2}{r_2^2} = \frac{E_1}{E_2} \cdot \frac{\pi_2^2}{\pi_1^2}.$$

Приклади розв'язування задач

Приклад 1. Візуальний блиск Веги $+0^m,14$ і її паралакс $0'',123$, а в зірки β Водолія візуальний блиск $+3^m,07$ і паралакс $0'',003$. Знайти відношення блиску і світності цих зір.

Дано: $m_1 = +0^m,14$, $\pi_1 = 0'',123$; $m_2 = +3^m,07$, $\pi_2 = 0'',003$.

Розв'язок.

Відношення блиску зір:

$$\lg \frac{E_1}{E_2} = 0,4(m_2 - m_1) = 1,172; \quad \frac{E_1}{E_2} \approx 15.$$

Світності цих зір:

$$\frac{L_1}{L_2} = \frac{E_1}{E_2} \cdot \frac{\pi_2^2}{\pi_1^2} = 15 \left(\frac{0'',003}{0'',123} \right)^2 = 0,0089 \quad \text{або} \quad \frac{L_2}{L_1} = 112.$$

Отже, Вега здається нам яскравішою зірки β Водолія в 15 разів, а насправді β Водолія яскравіша Веги в 112 разів.

Приклад 2. В епоху середнього протистояння Марса його супутники видно із Землі як зіркоподібні об'єкти $+11^m,6$ (Фобос) і $+12^m,8$ (Деймос). Знайти блиск супутників в епоху великого протистояння Марса. Середня геліоцентрична відстань Марса 1,524 а.о., а ексцентриситет його орбіти – 0,0934.

Дано: Марс, $a = 1,524$ а.о., $e = 0,0934$; Фобос, $m = 11^m,6$; Деймос, $m = +12^m,8$.

Розв'язок.

Блиск супутника:

$$E = kA \frac{d^2}{r^2 \rho^2}.$$

Під час середнього протистояння геліоцентрична відстань Марса і його супутників $r = a = 1,524$ а.о., а їх геоцентрична відстань $\rho = a - a_0 = 1,524$ а.о. $- 1,0$ а.о. $= 0,524$ а.о.

В епоху великого протистояння Марса його геліоцентрична відстань $r_1 = q = a(1 - e) = 1,524(1 - 0,0934) = 1,382$ а.о., а геоцентрична відстань $\rho_1 = q - a_0 = 1,382 - 1,0 = 0,382$ а.о., тому блиск супутника

$$E_1 = kA \frac{d^2}{r_1^2 \rho_1^2}.$$

Отже,

$$\frac{E_1}{E} = \left(\frac{r\rho}{r_1\rho_1} \right)^2,$$

або ж

$$\lg \frac{E_1}{E} = 2 \lg \frac{r\rho}{r_1\rho_1} = 0,4(m - m_1),$$

де m – відома і m_1 – шукана зоряна величина супутника. Звідси

$$m - m_1 = 5 \lg \frac{1,524 - 0,524}{1,382 * 0,382} = 5 \lg 1,51 = 5 * 0,179 = 0^m,9.$$

Тобто блиск Фобоса $m_1 = 11^m,6 - 0^m,9 = 10^m,7$, а блиск Деймоса $m_1 = 12^m,8 - 0^m,9 = 11^m,9$.

Задачі для самостійного розв'язування

568. У скільки разів зірки 1-ої зоряної величини яскравіші найслабших зір, які видно неозброєним оком (зір 6-ої зоряної величини)?
569. У скільки разів зірки 1-ої зоряної величини яскравіші зір 21-ої зоряної величини?
570. У деякої змінної зірки блиск змінюється від мінімуму до максимуму на 7 зоряних величин. У скільки разів зростає при цьому блиск зірки?
571. Блиск нової зірки, яка спалахнула в сузір'ї Персея, збільшився в 25000 разів. Яка було відповідна зміна блиску в зоряних величинах?
572. У скільки разів зірка Арктур яскравіша зір α Андромеди і η Діви, якщо візуальний блиск Аркура дорівнює $+0^m,24$, а інших зір відповідно $+2^m,15$ і 4^m ?
573. У скільки разів зірки ϵ Лебедя і γ Водолія слабше світять за Сиріус (α Великого Пса), якщо їх візуальний блиск відповідно дорівнює $+2^m,64 + 3^m,97$ і $-1^m,58$?
574. У скільки разів змінюється блиск Марса, якщо його видима візуальна зоряна величина коливається в межах від $+2^m$ до $-2^m,6$?
575. Знайти різницю зоряних величин зір, що відрізняються за блиском в 10, 100 і 1000 разів.
576. Скільки зір 6-ої зоряної величини мають разом такий же блиск, як одна зірка 1-ої зоряної величини?
577. Скільки зір нульової зоряної величини можуть замінити світло, що випускається всіма зірками від 10-ї до 11-ї величини, якщо їх число дорівнює 546000? Прийняти середню зоряну величину зір від 10-ої до 11-ої зоряної величини 10,5.
578. Яка приблизно має бути кількість зір нульової зоряної величини для того, щоб їх світло замінити сумарне світло зір від 19-ої до 20-ої зоряної величини, якщо їх число дорівнює $4,4 \cdot 10^8$?

579. Зір 6-ої зоряної величини на північному небі 2000. У скільки разів їх загальна освітленість більша освітленості, що її створює Сиріус, блиск якого $-1^m,6$?
580. Скільки зір нульової видимої зоряної величини можуть замінити світло, що випускається всіма зірками восьмої видимої зоряної величини, число яких близьке до 26700?
581. У скільки разів доступні телескопам найменш яскраві зірки ($+22^m,5$) світять слабше зірки Альтаїра (α Орла), блиск якої $+0^m,8$?
582. Візуальний блиск зірки Поллукс (β Близнюків) $+1^m,21$, зірки Альтаїр (α Орла) $+0^m,89$ і зірки Ригель (β Оріона) $+0^m,34$, а видимі фотографічні зоряні величини тих же зір дорівнюють відповідно $+2^m,46$, $+1^m,13$ і $+0^m,17$. Визначити показник кольору кожної з цих зір і відношення інтенсивності випромінювання в візуальних і фотографічних променях.
583. Фотоелектрична жовта зоряна величина Веги $+0^m,03$, Альдебарана $+0^m,86$ і Спіки $+0^m,97$, їх основні показники кольору дорівнюють відповідно 0^m , $+1^m,54$ і $-0^m,23$, а ультрафіолетові (U-V) показники кольору дорівнюють 0^m , $+3^m,46$ і $-1^m,17$. Знайти синю і ультрафіолетову зоряну величину кожної з цих зір.
584. Обчислити для кожної зірки попередньої задачі відношення блиску в різних променях.
585. У скільки разів відрізняється блиск Сонця в візуальних ($-26^m,78$) і фотографічних ($-26^m,21$) променях і у скільки разів – в жовтих і синіх променях, якщо його основний показник кольору дорівнює $+0^m,63$?
586. Якщо відстань до зірки 4-ої зоряної величини зменшити вдвічі, якою стане її видима зоряна величина?
587. На скільки зміниться зоряна величина зірки, якщо її наблизити на 40% відстані? Якщо її віддалити на таку ж величину?
588. Видима зоряна величина Денеба $1^m,33$, а Сиріуса $-1^m,58$. У скільки разів Денеб став би для нас яскравіший Сиріуса, якщо його помістити на відстані Сиріуса? Відомо, що Сиріус у 75 разів ближче до нас ніж Денеб.

589. На скільки зміниться видима зоряна величина зірки при її віддаленні в два, чотири і n разів і при такому ж зменшенні її справжньої відстані?
590. Фотографічний блиск зірки Проціон (α Малого Пса) дорівнює $+0^m,88$, а звичайний показник кольору $+0^m,4$. Знайти візуальний блиск цієї зірки при збільшенні її відстані від Землі в 5 і 10 разів і при зменшенні її відстані в 3 і 6 разів.
591. Визначити відношення освітленостей, створюваних на Землі Місяцем в повний місяць і в першій чверті, якщо в першому випадку блиск Місяця дорівнює $-12^m,7$, а в другому $-9^m,2$.
592. У скільки разів повний Місяць світить слабше Сонця, якщо його візуальний блиск дорівнює $-12^m,7$, а видима візуальна зоряна величина Сонця $-26^m,8$?
593. У скільки разів Земля отримує більше світла від Сонця ($-26^m,78$), ніж від самої яскравої зірки неба Сиріуса (α Великого Пса), видима візуальна зоряна величина якого дорівнює $-1^m,58$?
594. Обчислити кутовий діаметр і видиму візуальну зоряну величину Сонця з Меркурія, Марса і Плутона і визначити освітленості цих планет Сонцем в порівнянні з освітленістю Землі. Відстані цих планет від Сонця дорівнюють відповідно 0,387 а.о., 1,524 а.о., і 39,5 а.о. Видимий із Землі діаметр Сонця $32'$, а візуальний блиск дорівнює $-26^m,78$.
595. В епоху середнього протистояння Марса його супутники видно з Землі як зіркоподібні об'єкти $+11^m,6$ (Фобос) і $+12^m,8$ (Деймос). Які приблизно кутові розміри і який блиск супутників у повній фазі за спостереженнями з Марса, якщо середній поперечник Фобоса дорівнює 21 км, а поперечник Деймоса – 12 км і вони обертаються навколо планети відповідно на відстанях 9400 км і 23500 км? Середня геліоцентрична відстань Марса 1,524 а.о., а його радіус – 3400 км.
596. Використовуючи дані попередньої задачі та ексцентриситет марсіанської орбіти – 0,0934, обчислити блиск супутників Марса при його афелійному

протистоянні і при перігелійному та афелійному сполученнях.

597. Діаметр Місяця менший земного в 3,67 рази; сферичне альbedo Землі 0,39, а Місяця 0,07. При геоцентричній відстані 384400 км блиск повного Місяця дорівнює – $12^m,7$. Як виглядає Земля і Місяць за спостереженнями з Сонця?
598. Скільки часу необхідно уявному поїзду, що йде без зупинок зі швидкістю 100 км/год, щоб дістатися до найближчої зірки – α Центавра, паралакс якої $0'',76$?
599. Скільки часу необхідно летіти в космічному кораблі, що рухається зі швидкістю 1000 км/с, щоб долетіти до зірки Поллукс, паралакс якої дорівнює $0'',10$?
600. Паралакс зірки 61 Лебеда дорівнює $0'',37$. Яка до неї відстань в світлових роках?
601. Паралакс Сиріуса дорівнює $0'',37$, а паралакс Спіки – $0'',02$. Виразити відстані до цих зір в парсеках, світлових роках, астрономічних одиницях і кілометрах.
602. Паралакс Альтаїра дорівнює $0'',2$, а паралакс Веги – $0'',12$. Виразити відстані до цих зір в парсеках, світлових роках, астрономічних одиницях і кілометрах.
603. Паралакси Полярної зірки (α Малої Ведмедиці), Міцара (ζ Великої Ведмедиці) і зірки Каптейна відповідно $0'',005$, $0'',037$ і $0'',251$. Виразити відстані цих зір в парсеках і світлових роках.
604. Паралакс зірки дорівнює $0'',312$; можлива неточність його вимірювання складає $\pm 0'',006$. Що можна сказати про відстань до зірки?
605. Ймовірна похибка паралакса Рігеля ($0'',006$) становить $\pm 0'',006$. Що можна сказати про відстань до зірки?
606. Відстань від зірки Денеб (α Лебеда) до Землі світло проходить за 815 років, відстань від зірки Альдебарана (α Тельця) – за 67,9 роки і від зірки Толіман (α Центавра) – за 4,34 роки. Чому дорівнюють річні паралакси цих зір?
607. Видима зоряна величина Сиріуса дорівнює $-1^m,58$, а його супутника $8^m,44$. У скільки разів справжній блиск Сиріуса більший справжнього блиску його супутника?
608. Зірка Сиріус з видимою візуальною зоряною величиною $-1^m,58$ знаходиться в 20 разів ближче до

- Землі, ніж зірка ϵ Змії, візуальний блиск якої $+3^m,85$. Яка з цих зір і у скільки разів здається нам яскравішою і яке відношення їх світностей?
609. Розв'язати попередню задачу для зір α Орла і α Оріона, якщо у першої зірки блиск $+0^m,89$ і паралакс $0'',198$, а у другої відповідно $+3^m,78$ і $0'',002$.
610. Зоряна величина Веги дорівнює $+0^m,1$. Яка була б її зоряна величина, якби Вега віддалилася від нас на відстань в 1000 разів далі? Чи було б її тоді видно неозброєним оком?
611. Зірка наближається до Сонячної системи зі швидкістю v км/с. Через скільки років її видимий блиск збільшиться в n разів, якщо відстань до зірки дорівнює a світлових років або R км? *Примітка:* Величину, на яку при цьому зменшиться відстань, позначити через x . Швидкість світла позначити через c .
612. Через скільки років видимий блиск зірки Альтаїр збільшиться на $0^m,1$ зоряну величину, якщо відстань до неї дорівнює 15,7 св. року і вона наближається до нас зі швидкістю близько 26 км/с.
613. Відстань до Сиріуса складає 2,7 пк, але внаслідок руху Сиріуса зменшується на 8 км щосекунди. Розрахувати, через скільки років видимий блиск Сиріуса зросте вдвічі.

§13. Фізична природа Сонця і зір

Світність зір обчислюється за їх абсолютною зоряною величиною M (зоряна величина, яку мала б зоря, якби вона перебувала на відстані 10 пк), яка пов'язана з видимою зоряною величиною m співвідношеннями

$$M = m + 5 + 5 \lg \pi'' \text{ та } M = m + 5 - 5 \lg r_{\text{пк}},$$

де π – річний паралакс зірки, виражений в секундах дуги і r – відстань зірки в парсеках.

Знайдена за цими формулами абсолютна зоряна величина M може бути візуальною M_v , фотографічною M_{pg} , фотоелектричною.

При визначенні зоряних величин із спостережень вимірюється лише та частина випромінювання, яка пройшла через атмосферу Землі. Частина ж випромінювання, особливо в ультрафіолетовій і інфрачервоній областях, поглинається атмосферою Землі. Для врахування цього поглинання вводиться болометрична поправка b , що характеризує повне випромінювання. Ця поправка додається до абсолютної зоряної величини.

Зокрема, абсолютна болометрична зоряна величина,

$$M_b = M_v + b$$

і може бути також обчислена за видимою болометричною зоряною величиною

$$m_b = m_v + b,$$

де b – болометрична поправка, яка залежить від спектрального класу і класу світності зірки.

Світність L зір виражається в світностях Сонця, яка приймається за одиницю ($L_{\odot} = 1$), і тоді

$$\frac{L}{L_{\odot}} = 10^{0,4(M_{\odot} - M)} \text{ або } \lg L = 0,4(M_{\odot} - M),$$

де M_{\odot} – абсолютна зоряна величина Сонця:

візуальна $M_{\odot v} = +4^{\text{м}}, 79$;

фотографічна $M_{\odot pg} = 5^{\text{м}}, 36$;

фотоелектрична жовта $M_{\odot V} = +4^{\text{м}}, 77$;

фотоелектрична синя $M_{\odot B} = 5^{\text{м}}, 40$;

болометрична $M_{\odot b} = +4^{\text{м}}, 73$.

Ці зоряні величини необхідно використовувати при розв'язуванні задач даного розділу.

Температура є однією з найважливіших фізичних характеристик зір. *Температурою зірки* вважають температуру видимого (зовнішнього) шару зоряної атмосфери – фотосфери. Проте температура у фотосфері на різних глибинах різна. Спостережуване випромінювання зірки формується на різних рівнях у фотосфері. Це результуюче або ефективне випромінювання створює безперервний фон спектру. Тому безперервний спектр дозволяє оцінити усереднене значення температури. Цю температуру називають ефективною T_{ef} .

Визначається T_{ef} на основі закону Стефана-Больцмана: якщо зірку вважати абсолютно чорним тілом з температурою T_{ef} , то з одиниці своєї поверхні вона випромінює енергію

$$E = \sigma T_{ef}^4,$$

де σ – стала Стефана-Больцмана, яка чисельно дорівнює $5,670373(21) \cdot 10^{-8} \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{К}^{-4}$.

Тоді світність зірки:

$$L = 4\pi R^2 \cdot \sigma T_{ef}^4.$$

Ефективна температура зірки визначиться за формулою:

$$T_{ef} = \sqrt[4]{\frac{L}{4\pi\sigma R^2}}.$$

Тут R – радіус зірки.

Ефективна температура Сонця може бути знайдена за величиною числового значення так званої *сонячної сталої* Q . Це – повна кількість сонячної енергії, яка проходить за одиницю часу через перпендикулярну до променів одиничну площадку, розташовану на середній відстані від Землі до Сонця.

$$E_{\odot} = Q = 1367 \text{ Вт/м}^2.$$

Якщо R_{\odot} – радіус Сонця, a_{\oplus} – середня відстань від Землі до Сонця (1 а.о.), то:

$$Q = \frac{L_{\odot}}{4\pi a_{\oplus}^2} = \frac{\sigma T_{ef}^4 \cdot 4\pi R_{\odot}^2}{4\pi a_{\oplus}^2}.$$

$$\text{Тоді } T_{ef} = \sqrt[4]{\frac{Q}{\sigma}} \cdot \sqrt{\frac{a_{\oplus}}{R_{\odot}}}.$$

Описаний метод оцінки ефективної температури може бути застосований і до інших зір. Проте для цього треба знати r/R , де r – відстань від зірки до спостерігача, а R – радіус зірки.

Якщо E – кількість енергії, яка потрапляє від зірки або Сонця по нормалі на площадку площею 1 см^2 за 1 с , то при кутовому діаметрі Δ , вираженому в секундах дуги ("), ефективна температура

$$T_{\text{эф}} = 642,3 \sqrt[4]{\frac{E}{\sigma \Delta^2}}$$

Закон Стефана-Больцмана застосовується для визначення ефективної температури лише тих зір, в яких відомі кутові або лінійні розміри.

Колірна температура Сонця і зір, в спектрах яких відомий розподіл енергії, може бути знайдена за законом Віна

$$\lambda_{\text{max}} \cdot T_{\text{к}} = b,$$

де λ_{max} – довжина хвилі, що відповідає максимуму енергії, а b – стала зміщення Віна, яка чисельно дорівнює $0,002898 \text{ м} \cdot \text{К}$.

З достатньою точністю колірна температура зір обчислюється за їх показниками кольору C і $(B-V)$:

$$T_{\text{к}} = \frac{7200^\circ}{C + 0^{\text{m}},65} \text{ та } T_{\text{к}} = \frac{7920^\circ}{(B-V) + 0^{\text{m}},72}.$$

Тепловим індексом називається різниця зоряних величин об'єкта, визначених візуально (m_v) і за допомогою радіометра або термoeлемента (m_r). Ця величина пов'язана з температурою зірки співвідношенням

$$m_v - m_r = 10 \lg T + 29500/T - 42,1.$$

Маси M зір зазвичай виражаються в масах Сонця ($M_{\odot} = 1$) і досить точно визначаються лише для фізичних подвійних зір (з відомим паралаксом π) за третім узагальненим законом Кеплера: сума мас компонентів подвійної зорі

$$M_1 + M_2 = \frac{a^3}{P^2},$$

де P – період обертання зірки-супутника навколо головної зірки (або двох зір навколо загального центру мас), виражений в роках, a – велика піввісь орбіти зірки-супутника в астрономічних одиницях.

Величина a в астрономічних одиницях обчислюється за кутовим значенням великої півосі a'' і паралаксом π , отриманим із спостережень, в секундах дуги:

$$a = \frac{a''}{\pi''}.$$

Якщо відоме відношення відстаней a_1 і a_2 компонентів подвійної зорі від їх загального центру мас, то рівність

$$\frac{M_1}{M_2} = \frac{a_2}{a_1}$$

дозволяє знайти масу кожного компонента окремо.

Лінійні радіуси R зір завжди виражаються в радіусах Сонця ($R_\odot = 1$) і для зір з відомими кутовими діаметрами Δ (в секундах дуги)

$$R = 107,5 \frac{\Delta}{\pi},$$

причому

$$\lg \Delta = 5,444 - 0,2m_b - 2\lg T.$$

Лінійні радіуси зір знаходяться також за формулами

$$\lg R = 8,473 - 0,2M_b - 2\lg T,$$

$$\lg R = 0,82C - 0,2M_v + 0,51,$$

$$\lg R = 0,72(B - V) - 0,2M_V + 0,51,$$

де T – температура зірки (ефективна, але якщо вона не відома, то колірна).

Коли відомі маса M і радіус R зірки, можна розрахувати середню густину речовини зорі ρ :

$$\rho = \frac{M}{V} = \frac{3M}{4\pi R^3}.$$

$$\text{Для Сонця: } \rho_\odot = \frac{3M_\odot}{4\pi R_\odot^3}.$$

Зручно виразити середню густину речовини зірки в одиницях середньої густини Сонця (при $\rho_\odot = 1$ середня густина зірки отримується в густині сонячної речовини):

$$\frac{\rho}{\rho_\odot} = \frac{M}{M_\odot} \cdot \frac{1}{\left(\frac{R}{R_\odot}\right)^3}.$$

Якщо врахувати середню густину речовини Сонця $\rho_{\odot} = 1,41 \text{ г/см}^3$, то можна отримати середню густину речовини зірки в абсолютних одиницях.

Потужність випромінювання зірки або Сонця

$$E_0 = 4\pi R^2 \cdot \sigma T_{\text{ef}}^4 = 4\pi R^2 E,$$

а щосекундна втрата маси через випромінювання визначається за формулою Ейнштейна

$$\Delta M = \frac{E_0}{c^2},$$

де c – швидкість світла у вакуумі.

Приклади розв'язування задач

Приклад 1. Визначити ефективну температуру і радіус Веги, якщо її кутовий діаметр $0'',0035$, річний паралакс $0'',123$ і болометричний блиск $-0^{\text{m}},54$. Болометрична зоряна величина Сонця $-26^{\text{m}},84$, а сонячна стала 1367 Вт/м^2 .

Дано: Вега, $\Delta = 0'',0035$, $\pi = 0'',123$, $m_b = -0^{\text{m}},54$; Сонце, $m_{\odot b} = -26^{\text{m}},84$, $Q = 1367 \text{ Вт/м}^2$.

Розв'язок.

Падаюче перпендикулярно на одиницю площі земної поверхні випромінювання зірки, аналогічне сонячній сталій, обчислюється за формулою:

$$\lg \frac{E}{E_{\odot}} = 0,4(m_{\odot b} - m_b) = -10,520$$

звідки $\frac{E}{E_{\odot}} = 3,02 \cdot 10^{-11}$ або $E = 4,13 \cdot 10^{-8} \text{ Вт/м}^2$.

$$\text{Радіус Веги: } R = 107,5 \frac{\Delta}{\pi} = 107,5 \frac{0'',0035}{0'',123} = 3,06$$

Отже, лінійний радіус Веги в 3,06 рази більший за радіус Сонця.

Температура Веги:

$$T_{\text{ef}} = 642,3 \sqrt[4]{\frac{E}{\sigma \Delta}} = 642,3 \sqrt[4]{\frac{4,13 \cdot 10^{-8}}{5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 0,0035^2}} = 10030 \text{ K}$$

Приклад 2. Знайти фізичні характеристики Сиріуса і його супутника за наступними даними спостереження: видима жовта зоряна величина Сиріусу $-1^m,46$, його основний показник кольору $0^m,00$, а зірки-супутника відповідно $+8^m,50$ і $+0^m,15$; паралакс зірки $0'',375$; супутник обертається навколо Сиріуса з періодом 50 років по орбіті з кутовим значенням великої півосі $7'',60$, причому відношення відстаней зір до загального центру мас становить 2,3:1. Абсолютна зоряна величина Сонця в жовтих променях $+4^m,77$.

Дано: Сиріус, $V_1 = -1^m,46$, $(B - V)_1 = 0^m,00$; супутник $V_2 = +8^m,50$, $(B - V)_2 = +0^m,15$, $P = 50$ р., $a'' = 7'',60$; $a_2:a_1 = 2,3:1$; $\pi = 0'',375$; Сонце, $M_{\odot V} = +4^m,77$.

Розв'язок.

Абсолютна зоряна величина Сиріуса:

$M_{V1} = V_1 + 5 + 5 \lg \pi = -1^m,46 + 5 + 5 \lg 0,375 = +1^m,41$,
а логарифм його світності

$\lg L_1 = 0,4(M_{\odot} - M_1) = 0,4(4^m,77 - 1^m,41) = 1,344$,
звідси світність $L_1 = 22$.

Температура Сиріуса:

$$T_1 = \frac{7920}{(B - V)_1 + 0^m,72} = \frac{7920}{0^m,00 + 0^m,72} = 11\,000\text{ K},$$

Радіус Сиріуса:

$$\begin{aligned} \lg R_1 &= 0,72(B - V)_1 - 0,20M_{V1} + 0,51 = \\ &= 0,72 \cdot 0^m,00 - 0,20 \cdot 1^m,41 + 0,51 = 0,228, \end{aligned}$$

і тоді радіус Сиріуса $R_1 = 1,7$, а його об'єм

$$R_1^3 = 1,7^3 = 4,91 \text{ (об'єму Сонця)}.$$

Для супутника Сиріуса використовуємо ті ж формули:

$$\begin{aligned} M_{V2} &= +11^m,37; L_2 = 2,3 \cdot 10^{-3}; T_2 = 9100^\circ; \\ R_2 &= 0,022; R_2^3 = 10,6 \cdot 10^{-6}. \end{aligned}$$

Велика піввісь орбіти супутника:

$$a = \frac{a''}{\pi} = \frac{7'',60}{0'',375} = 20,3 \text{ а.о.},$$

Сума мас зір:

$$M_1 + M_2 = \frac{a^3}{P^2} = \frac{20,3^3}{50^2} = 3,3$$

Відношення мас

$$\frac{M_1}{M_2} = \frac{a_1}{a_2} = \frac{2,3}{1} \text{ або } M_1 = 2,3M_2.$$

З останніх двох рівностей знаходиться маса Сиріуса $M_1 = 2,3$ і маса його супутника $M_2 = 1,0$.

Середня густина зір:
у Сиріуса

$$\rho_1 = \rho_{\odot} \frac{M_1}{R_1^3} = 1,41 \cdot \frac{2,3}{4,91} = 0,66 \frac{\text{г}}{\text{см}^3},$$

його супутника

$$\rho_2 = \rho_{\odot} \frac{M_2}{R_2^3} = 1,41 \cdot \frac{1,0}{10,6 \cdot 10^{-6}} = 133 \cdot 10^3 \frac{\text{г}}{\text{см}^3} = 133 \frac{\text{кг}}{\text{см}^3}.$$

За знайденими характеристиками – радіусом, світністю і густиною – робимо висновок, що Сиріус належить до зір головної послідовності, а його супутник є білим карликом.

Задачі для самостійного розв'язування

614. Обчислити візуальну світність зір, візуальний блиск і річний паралакс яких вказані в дужках: α Орла ($0^{\text{м}},89$ і $0'',198$), α Малої Ведмедиці ($2^{\text{м}},14$ і $0'',005$) і ϵ Індіанця ($4^{\text{м}},73$ і $0'',285$).
615. Знайти фотографічну світність зір, для яких візуальний блиск, звичайний показник кольору і відстань від Сонця вказані в дужках: β Близнюків ($1^{\text{м}},21$, $+1^{\text{м}},25$ і $10,75$ пк); η Лева ($3^{\text{м}},58$, $+0^{\text{м}},00$ і 500 пк); зірка Каптейна ($8^{\text{м}},85$, $+1^{\text{м}},30$ і $3,98$ пк).
616. У скільки разів візуальна світність зір попередньої задачі перевищує їх фотографічну світність?
617. Візуальний блиск Капелли $0^{\text{м}},21$, а її супутника $10^{\text{м}}$. Показники кольору цих зір дорівнюють відповідно $+0^{\text{м}},82$ і $-1^{\text{м}},63$. Визначити, у скільки разів візуальна і фотографічна світність Капелли більші відповідної світності її супутника.
618. Абсолютна візуальна зоряна величина зірки β Великого Пса дорівнює $-2^{\text{м}},28$. Знайти візуальну і фотографічну світність двох зір, одна з яких (з показником кольору $+0^{\text{м}},29$) у 120 разів яскравіша, а інша (з показником кольору $+0^{\text{м}},9$) у 120 разів слабша зірки β Великого Пса.

619. Якби Сонце, Рігель (β Оріона), Толіман (α Центавра) і його супутник Проксима знаходилися на однаковій відстані від Землі, то яку кількість світла в порівнянні з сонячною отримувала б вона від цих зір? Візуальний блиск Рігеля $0^m,34$, його паралакс $0'',003$, ті ж величини у Толімана $0^m,12$ і $0'',751$, а у Проксими $10^m,68$ і $0'',762$. Зоряна величина Сонця $-26^m,78$.
620. Знайти відстані від Сонця і паралакси трьох зір Великої Ведмедиці за їх блиском в жовтих променях і абсолютною зоряною величиною в синіх променях:
 α , $V = 1^m,79$, $(B-V) = +1^m,07$ і $M_B = +0^m,32$;
 δ , $V = 3^m,31$, $(B-V) = +0^m,08$ і $M_B = +1^m,97$;
 η , $V = 1^m,86$, $(B-V) = -0^m,19$ і $M_B = -5^m,32$.
621. На якій відстані від Сонця знаходиться Спіка і чому дорівнює її паралакс, якщо її світність в жовтих променях дорівнює 720, основний показник кольору дорівнює $-0^m,23$, а блиск в синіх променях $0^m,74$?
622. Абсолютна синя зоряна величина Капелли (α Візничого) $+0^m,2$, а Проціона (α Малого Пса) $+3^m,09$. У скільки разів ці зірки в синіх променях яскравіші або слабші Регула (α Лева), абсолютна жовта зоряна величина якого $-0^m,69$, а основний показник кольору $-0^m,11$?
623. Як виглядає Сонце з відстані зірки Толіман (α Центавра), паралакс якої $0'',751$?
624. Який візуальний і фотографічний блиск Сонця з відстаней зір Регул (α Лева), Антарес (α Скорпіона) і Бетельгейзе (α Оріона), паралакси яких відповідно $0'',039$, $0'',019$ і $0'',005$?
625. На скільки болометричні поправки відрізняються від основних показників кольору при болометричній світності зірки, що перевищує в 20, 10 і 2 рази її жовту світність, яка, в свою чергу, більша синьої світності зірки відповідно в 5, 2 і 0,8 рази?
626. Максимум енергії у спектрі Спіки (α Діви) припадає на електромагнітну хвилю довжиною 1450 \AA , в спектрі Капелли (α Візничого) – на 4830 \AA , а в спектрі Поллукса (β Близнюків) – на 6580 \AA . Визначити колірну температуру цих зір.

627. Сонячна стала періодично коливається в межах від $0,136 \text{ Вт/см}^2$ до $0,137 \text{ Вт/см}^2$. На скільки при цьому змінюється ефективна температура Сонця, видимий діаметр якого близький до $32''$? Стала Стефана-Больцмана $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К}^4)$.
628. За результатом попередньої задачі знайти наближене значення довжини хвилі, яка відповідає максимуму енергії в сонячному спектрі.
629. Визначити ефективну температуру зір за їх кутовим діаметром і випромінюванням, що доходить від них до Землі:
- α Лева ($0'',0014$ і $13,566 \cdot 10^{-11} \text{ Дж/(см}^2 \cdot \text{хв)}$);
 - α Орла ($0'',0030$ і $8,946 \cdot 10^{-11} \text{ Дж/(см}^2 \cdot \text{хв)}$);
 - α Оріона ($0'',046$ і $32,34 \cdot 10^{-11} \text{ Дж/(см}^2 \cdot \text{хв)}$).
630. Видима болометрична зоряна величина зірки α Ерідана дорівнює -1^m і кутовий діаметр $0'',0019$, у зірки α Журавля аналогічні параметри $+1^m$ і $0'',001$, а у зірки α Тельця $+0^m,06$ і $0'',018$. Обчислити температуру цих зір, прийнявши видиму болометричну зоряну величину Сонця $-26^m,84$.
631. Визначити середню температуру зір спектральних класів B0, A0 і dG0, знаючи, що їх середні показники кольору відповідно дорівнюють $-0^m,33$, 0^m , $0^m,57$.
632. Визначити за показником кольору C температури наступних зір: δ Ерідана ($1^m,12$), ε Близнюків ($0^m,92$), Проціона ($0^m,47$) і τ Скорпіона ($-0^m,33$).
633. Обчислити температуру Альдебарана, знаючи, що його видима візуальна зоряна величина дорівнює $1^m,1$, а кутовий діаметр дорівнює $0'',02$.
634. Визначити температуру зір, візуальний і фотографічний блиск яких зазначений у дужках: у Оріона ($1^m,7$ і $1^m,41$); ε Геркулеса ($3^m,92$ і $3^m,92$); α Персея ($1^m,9$ і $2^m,46$); β Андромеди ($2^m,37$ і $3^m,94$).
635. Обчислити температуру зір за фотоелектричною жовтою і синьою зоряними величинами, зазначеними в дужках: ε Великого Пса ($1^m,5$ і $1^m,29$); β Оріона ($0^m,13$ і $0^m,1$); α Кіля ($-0^m,75$ і $-0^m,6$); α Володія ($2^m,87$ і $3^m,71$); α Волопаса ($-0^m,05$ і $1^m,18$); α Кита ($2^m,53$ і $4^m,17$).

636. За результатами двох попередніх задач знайти довжину хвилі, яка відповідає максимуму енергії в спектрах тих же зір.
637. У яких межах змінюється температура змінних зір, якщо в середньому тепловий індекс для них дорівнює $+4^m,3$ в період найбільшого блиску і $+7^m,8$ в період найменшого блиску?
638. Обчислити середню температуру зір-гігантів спектрального класу K0, знаючи, що їх тепловий індекс в середньому дорівнює $+1^m,2$.
639. Зірка α Оріона посилає на Землю кількість тепла, що характеризується величиною $32,34 \cdot 10^{-11}$ Дж/см² за хвилину. Скільки тепла від цієї зірки отримує Земля за рік, якщо його збирати дзеркалом телескопа, що має діаметр 2,5 м?
640. Визначити, яку кількість льоду протягом року здатне розтопити тепло, що посилається на Землю Сиріусом і збирається дзеркалом з діаметром 1 м, якщо за хвилину на 1 см² земної поверхні, перпендикулярно до променів цієї зірки, попадає кількість енергії $24,36 \cdot 10^{-11}$ Дж?
641. Зірка α Волопаса на 1 см² поверхні Землі, перпендикулярно до її променів, посилає за хвилину $26,88 \cdot 10^{-11}$ Дж. Паралакс зірки 0",08, а радіус в 26 разів більший сонячного. Визначити температуру α Волопаса.
642. Зірка α Оріона посилає на Землю кількість енергії, що характеризується величиною $32,34 \cdot 10^{-11}$ Дж/см² за хвилину. Обчислити за цими даними температуру зірки, знаючи, що її паралакс дорівнює 0",011, а кутовий діаметр, виміряний інтерферометром, дорівнює 0",047.
643. Обчислити температуру Арктура, знаючи, що протягом хвилини на 1 см² поверхні Землі, перпендикулярно до його променів, він посилає $26,88 \cdot 10^{-11}$ Дж, його паралакс дорівнює 0",08, а кутовий діаметр 0",02.
644. Порівняти діаметри зір α Скорпіона і «зірки Барнарда», знаючи, що їх абсолютні зоряні величини – $4^m,0$ і $+13^m,4$, а температури однакові.
645. Визначити радіус β Центавра, якщо її температура 21000° , а абсолютна візуальна зоряна величина $M_v = -3^m,8$.

646. Визначити радіус Антареса, знаючи, що його температура 3100° , а абсолютна візуальна зоряна величина $M_v = -4^m$.
647. Визначити радіус супутника Сиріуса, знаючи, що його температура 7500° , а абсолютна візуальна зоряна величина $M_v = 11^m,2$.
648. Визначити радіус Альдебарана і обчислити його видимий кутовий діаметр, знаючи, що у Альдебарана паралакс $\pi = 0'',057$, $T = 3300^\circ$, а $M_v = -0^m,1$.
649. У зірки Вега (α Ліри) паралакс $0'',123$ і кутовий діаметр $0'',0035$, у Альтаїра (α Орла) $0'',198$ і $0'',0030$, у Рігеля (β Оріона) $-0'',0003$ і $0'',0027$ та у Альдебарана (α Тельця) $-0'',048$ і $0'',02$. Знайти радіуси і об'єми цих зір.
650. Близк Денеба в синіх променях $1^m,34$, його основний показник кольору $+0^m,09$ і паралакс $0'',004$; ті ж параметри у ϵ Близнюків $4^m,38$, $+1^m,4$ і $0'',009$, а у γ Ерідана $4^m,54$, $+1^m,6$ і $0'',003$. Знайти радіуси і об'єми зір.
651. Порівняти діаметри δ Змієносія і зірки Барнарда, температура яких однакова, якщо у першій зірки видима болометрична зоряна величина дорівнює $1^m,03$ і паралакс $0'',029$, а у другій ті ж параметри $8^m,1$ і $0'',545$.
652. Обчислити лінійні радіуси зір, температура і абсолютна болометрична зоряна величина яких: у α Кита 3200° і $-6^m,75$, у β Лева 9100° і $+1^m,18$, а у ϵ Індіанця 4000° і $+6^m,42$.
653. Які кутові і лінійні діаметри зір, видима болометрична зоряна величина, температура і паралакс яких вказані в дужках: η Великої Ведмедиці ($-0^m,41$, 15500° і $0'',004$), ϵ Великої Ведмедиці ($+1^m,09$, 10000° і $0'',008$) та β Дракона ($+2^m,36$, 5200° і $0'',009$)?
654. Якщо у двох зір приблизно однакової температури радіуси відрізняються в 20, 100 і 500 разів, то в скільки разів відрізняється їх болометрична світність?
655. У скільки разів радіус зірки α Водолія (спектральний підклас G2Ib) більший радіусу Сонця (спектральний підклас G2V), якщо її видима візуальна зоряна величина $3^m,19$, болометрична поправка $-0^m,42$ і паралакс $0'',003$, температура обох світил приблизно однакова, а абсолютна болометрична зоряна величина Сонця $+4^m,73$?

656. Обчислити болометричну поправку для зір спектрального підкласу G2V, до якого належить Сонце, якщо кутовий діаметр Сонця $32'$, його видима візуальна зоряна величина $-26^m,78$ і ефективна температура 5800° .
657. Знайти наближене значення болометричної поправки для зір спектрального підкласу B01a, до якого належить зірка ϵ Оріона, якщо її кутовий діаметр $0'',0007$, видима візуальна зоряна величина $1^m,75$ і максимум енергії в її спектрі припадає на довжину хвилі 1094 \AA .
658. Знайти радіус і середню густину зір β Близнюків ($1^m,21$, $+1^m,25$ і $10,75$ пк); η Лева ($3^m,58$, $+0^m$ і 500 пк); зорі Каптейна ($8^m,85$, $+1^m,3$ і $3,98$ пк), якщо маса зірки β Близнюків приблизно $3,7$, маса η Лева близько 4 , а маса зірки Каптейна $0,5$ по відношенню до маси Сонця.
659. Візуальний блиск Полярної зірки $2^m,14$, її звичайний показник кольору $+0^m,57$, паралакс $0'',005$ і маса дорівнює 10 . Ті ж самі дані у зірки Фомальгаут (α Південної Риби) $1^m,29$, $+0^m,11$, $0''$, 144 і $2,5$, а у зірки ван-Маанена $12^m,3$, $+0^m,5$, $0'',236$ і $1,1$. Визначити світність, радіус і середню густину кожної зірки і вказати її положення на діаграмі Герцшпрунга-Рессела.
660. Знайти суму мас компонентів подвійної зірки ϵ Гідри, паралакс якої $0'',01$, період обертання супутника 15 років і кутові розміри великої півосі його орбіти $0'',21$.
661. Знайти суму мас компонентів подвійної зірки α Великої Ведмедиці, паралакс якої $0'',01$, період обертання супутника $44,7$ років і кутові розміри великої півосі його орбіти $0'',63$.
662. Визначити маси компонентів подвійних зір за наступними даними:

Зірка	Кутові розміри великої півосі орбіти	Річний паралакс	Період обертання	Співвідношення відстаней зірки від загального центра маси
α Візничого	$0'',054$	$0'',073$	105 днів	$11:14$
α Близнюків	$0'',29$	$0'',072$	420 років	$8:7$
ξ Великої Ведмедиці	$2'',51$	$0'',127$	$59,8$ року	$49:51$

663. Для головних зір попередньої задачі обчислити радіус, об'єм і середню густину. Видима жовта зоряна величина і основний показник кольору цих зір: α Візничого $0^m,08$ і

+0^m,8, α Близнюків 2^m і +0^m,04 і ξ Великої Ведмедиці 3^m,79 і +0^m,59.

664. Визначити середню густину зірки 40 Ерідана В за наступними даними: маса зірки становить 0,44 маси Сонця, $T = 11000^\circ$, $M_v = 11^m,2$.
665. Визначити середню густину білого карлика, що є супутником іншої зірки, за наступними даними. Спектри головної зірки і супутника однакові. Середня густина головної зірки 0,2 г/см³. Різниця видимих зоряних величин головної зірки і супутника дорівнює 10^m, а відношення їх мас 2:1.
666. Для Сонця і зір α Лева, α Орла, α Оріона знайти потужність випромінювання і втрату маси за секунду, добу і рік. Паралакси цих зір наступні: α Лева 0",039, α Орла 0",198 і α Оріона 0",005.
667. За результатами попередньої задачі обчислити тривалість спостережуваної інтенсивності випромінювання Сонця і тих же зір, вважаючи можливість її втрати до половини своєї сучасної маси, яка (в масах Сонця) у α Лева дорівнює 5, у α Орла 2 і у α Оріона 15. Масу Сонця прийняти $2 \cdot 10^{30}$ кг.
668. Визначити фізичні характеристики компонентів подвійної зірки Проціон і вказати їх положення на діаграмі Герцшпрунга-Рессела, якщо: візуальний блиск Проціона 0^m,48, його звичайний показник кольору +0^m,4, видима болометрична зоряна величина 0^m,43, кутовий діаметр 0",0057 і паралакс 0",288; візуальний блиск супутника Проціона 10^m,81, його звичайний показник кольору +0^m,26, період обертання навколо зірки – 40,6 р. по орбіті з видимою великою піввіссю 4",55; відношення відстаней зір від їх загального центру мас 19:7.
669. Розв'язати попередню задачу для подвійної зірки α Центавра. У головної зірки фотоелектрична жовта зоряна величина 0^m,33, основний показник кольору +0^m,63, видима болометрична зоряна величина 0^m,28; у супутника аналогічні величини 1^m,7, +1^m і 1^m,12, період обертання 80,1 р. на видимій середній відстані 17",6; паралакс зірки 0",751 і відношення відстаней компонентів від їх загального центру мас 10:9.

§14. Кратні і змінні зорі

Оскільки енергія, що отримується нами від кратної зірки дорівнює сумі енергій від кожного з компонентів, то блиск E кратної зірки дорівнює сумі блиску її компонентів:

$$E = E_1 + E_2 + \dots,$$

і тому її видима m і абсолютна M зоряні величини завжди менші зоряної величини m_i і M_i будь-якого компонента.

Обчислення m кратної зірки за m_i її компонентів найлегше здійснюється порівнянням їх блиску з блиском E_0 зірки нульової видимої зоряної величини $m_0 = 0$, якщо прийняти $E_0 = 1$.

Тоді з формули Погсона

$$\lg \frac{E}{E_0} = 0,4(m_0 - m)$$

отримаємо

$$\lg E = -0,4m \text{ і } \lg E_i = -0,4m_i.$$

Визначивши блиск E_i кожного компонента використовують формулу $E = E_1 + E_2 + \dots$ для знаходження загального блиску кратної зорі і потім обчислюють

$$m = -2,5 \lg E.$$

Якщо замість зоряної величини деяких компонентів задані відношення їх блиску, то немає необхідності визначати блиск кожного компонента окремо, а простіше виразити його через блиск найслабшого компонента.

Згідно формули Погсона відношення блиску двох зір E_1 і E_2 пов'язане з їх зоряними величинами m_1 і m_2 :

$$\frac{E_2}{E_1} = 2,512^{m_1 - m_2}$$

Таким чином, знаючи видимі зоряні величини компонентів кратної зірки, можна обчислити відношення блиску цих зір.

Наприклад, якщо задані відношення блиску компонентів

$$\frac{E_1}{E_2} = k, \quad \frac{E_3}{E_1} = n \text{ і т. д., то блиск всіх компонентів виражають}$$

через блиск одного з них ($E_2 = \frac{E_1}{k}$, $E_3 = nE_1$) і потім за формулою $E = E_1 + E_2 + \dots$ знаходять E .

Середня орбітальна швидкість v компонентів затемнюваної змінної зірки може бути знайдена за періодичним найбільшим

зміщенням $\Delta\lambda$ ліній (з довжиною хвилі λ) від їх середнього положення в спектрі, оскільки в даному випадку

$$v = v_r = c \frac{\Delta\lambda}{\lambda},$$

де v_r – променева швидкість і $c = 3 \cdot 10^8$ м/с – швидкість світла у вакуумі.

За знайденими значеннями v компонентів і періодом змінності P (в секундах) зірки обчислюють великі півосі a_1 і a_2 їх абсолютних орбіт (в кілометрах):

$$a_1 = \frac{v_1}{2\pi} P \text{ і } a_2 = \frac{v_2}{2\pi} P,$$

потім – велику піввісь відносної орбіти

$$a = a_1 + a_2.$$

За формулами

$$M_1 (в M_{\odot}) + M_2 (в M_{\odot}) = \frac{a^3 (в a.o.)}{P^2 (в роках)} \text{ і } \frac{M_1}{M_2} = \frac{a_2}{a_1}$$

визначають маси компонентів.

Якщо велика піввісь орбіти виражена в кутових величинах та відомо паралакс світила, то

$$a(км) = \frac{a''}{\pi''} \text{ та } M_1 + M_2 = \frac{a''^3}{\pi''^3 P^2}.$$

Формула $v = v_r = c \frac{\Delta\lambda}{\lambda}$ дозволяє також обчислити швидкість

розширення газових оболонок, скинутих новими і надновими зірками.

Приклади розв'язування задач

Приклад 1. Знайти видиму візуальну зоряну величину компонентів потрійної зірки, якщо її візуальний блиск $3^m, 70$, друга компонента яскравіша третьої в 2,8 разів, а перший яскравіший третього на $3^m, 32$.

Дано: $m = 3^m, 70$; $\frac{E_2}{E_3} = 2,8$; $m_1 = m_3 - 3^m, 32$.

Розв'язок.

За формулою $lg E = -0,4m$ знаходимо

$$lg E = -0,4m = -0,4 \cdot 3^m, 70 = -1,480 = 2,520$$

і $E = 0,03311$.

Щоб використати формулу $E = E_1 + E_2 + \dots$, необхідно знайти співвідношення E_1/E_3 :

$$\lg \frac{E_1}{E_3} = 0,4(m_3 - m_1) = 0,4 \cdot 3^m, 32 = 1,328,$$

звідки $E_1 = 21,3E_3$.

Далі

$$E = E_1 + E_2 + E_3 = 21,3E_3 + 2,8E_3 + E_3 = 25,1E_3,$$

і тоді

$$E_3 = \frac{E}{25,1} = \frac{0,03311}{25,1} = 0,001319 = 0,00132,$$

$$E_2 = 2,8E_3 = 2,8 \cdot 0,001319 = 0,003693 = 0,00369$$

$$E_1 = 21,3E_3 = 21,3 \cdot 0,001319 = 0,028094 = 0,02809.$$

За формулою $m = -2,5 \lg E$ знаходимо видимі візуальні зоряні величини компонентів

$$m_1 = -2,5 \lg E_1 = -2,5 \cdot \lg 0,02809 = -2,5 \cdot 2,449 = 3^m, 88,$$

$$m_2 = -2,5 \lg E_2 = -2,5 \cdot \lg 0,00369 = -2,5 \cdot 3,567 = 6^m, 08,$$

$$m_3 = -2,5 \lg E_3 = -2,5 \cdot \lg 0,00132 = -2,5 \cdot 3,121 = 7^m, 20.$$

Приклад 2. В спектрі затемнювально-змінної зірки, блиск якої змінюється за 3,953 доби, спектральні лінії відносно їх середнього положення періодично зміщуються в протилежних напрямках до значень $1,9 \cdot 10^{-4}$ і $2,9 \cdot 10^{-4}$ від нормальної довжини хвилі. Знайти маси компонентів цієї зірки.

Дано: $(\Delta\lambda / \lambda)_1 = 1,9 \cdot 10^{-4}$; $(\Delta\lambda / \lambda)_2 = 2,9 \cdot 10^{-4}$; $P = 3^a, 953$.

Розв'язок.

Середня орбітальна швидкість першого компонента

$$v_1 = v_{r1} = c(\Delta\lambda / \lambda)_1 = 3 \cdot 10^5 \cdot 1,9 \cdot 10^{-4}; v_1 = 57 \text{ км},$$

Орбітальна швидкість другого компонента

$$v_2 = v_{r2} = c(\Delta\lambda / \lambda)_2 = 3 \cdot 10^5 \cdot 2,9 \cdot 10^{-4}; v_2 = 87 \text{ км}.$$

Щоб знайти значення великих півосей орбіт компонентів, необхідно період обертання P , який дорівнює періоду змінності зорі, виразити в секундах.

Оскільки $1^a = 86400^c$, то $P = 3,953 \cdot 86400^c$.

Тоді у першого компонента велика піввісь орбіти

$$a_1 = \frac{v_1}{2\pi} P = \frac{57 \cdot 3,953 \cdot 86400}{2 \cdot 3,14} = 3,10 \cdot 10^6 \text{ км},$$

а у другого

$$a_2 = \frac{v_2}{2\pi} P = \frac{v_2}{v_1} a_1 = \frac{87}{57} \cdot 3,10 \cdot 10^6 = 4,73 \cdot 10^6 \text{ км},$$

велика піввісь відносної орбіти

$$a = a_1 + a_2 = 7,38 \cdot 10^6 \text{ км}.$$

Для визначення суми мас компонентів потрібно виразити a в а.о. (1 а.о. = $149,6 \cdot 10^6$ км) і P – в роках (1 рік = $365^{\text{д}}$,3).

$$\begin{aligned} \lg(M_1 + M_2) &= 3 \lg a - 2 \lg P = 3 \lg \frac{7,83 \cdot 10^6}{149,6 \cdot 10^6} - \\ &- 2 \lg \frac{3,953}{365,3} = 3(\lg 7,83 - \lg 149,6) - 2(\lg 3,95 - \lg 365,3) = \\ &= 3(0,8938 - 2,1749) - 2(0,5969 - 2,5626) = 0,0881 \end{aligned}$$

або

$$M_1 + M_2 = 1,22 \approx 1,2.$$

Відношення мас:

$$\frac{M_1}{M_2} = \frac{a_1}{a_2} = \frac{4,73 \cdot 10^6}{3,10 \cdot 10^6} = 1,53$$

і тоді $M_1 \approx 0,7$ і $M_2 \approx 0,5$ (в масах Сонця).

Задачі для самостійного розв'язування

670. Яка видима зоряна величина подвійної зірки, блиск компонентів якої $1^{\text{м}}$ і $2^{\text{м}}$?
671. Подвійна зірка Кастор (α Близнят) складається з двох зір $2^{\text{м}}$ і $2^{\text{м}},8$ зоряної величини. Який загальний блиск зірки в зоряних величинах?
672. Визначити візуальний блиск подвійної зірки α Риб, блиск компонентів якої $4^{\text{м}},3$ і $5^{\text{м}},2$.
673. Обчислити блиск чотирикратної зірки ϵ Ліри за блиском її компонентів: $5^{\text{м}},12$; $6^{\text{м}},03$; $5^{\text{м}},11$ і $5^{\text{м}},38$.
674. Візуальний блиск подвійної зірки γ Овна $4^{\text{м}},02$, а різниця зоряних величин її компонентів становить $0^{\text{м}},08$. Знайти видиму зоряну величину кожного компонента.

675. Який блиск потрійної зірки, якщо перший її компонент яскравіший другого в 3,6 рази, третій – слабший другого в 4,2 рази, а його блиск $4^m,36$?
676. Знайти видиму зоряну величину подвійної зірки, якщо блиск одного з компонентів $3^m,46$, а другий компонент на $1^m,68$ яскравіший першого.
677. Обчислити зоряну величину компонентів потрійної зірки β Єдиногого з візуальним блиском $4^m,07$, якщо другий компонент слабший першого в 1,64 рази і яскравіший третього на $1^m,57$.
678. Знайти візуальну світність компонентів і загальну світність подвійної зірки α Близнюків, якщо візуальний блиск її компонентів $1^m,99$ і $2^m,85$, а паралакс $0'',072$.
679. Обчислити візуальну світність другого компонента подвійної зірки γ Діви, якщо візуальний блиск цієї зірки $2^m,91$, блиск першого компонента $3^m,62$, а паралакс $0'',101$.
680. Визначити візуальну світність компонентів подвійної зірки Міцар (ζ Великої Ведмедиці), якщо її блиск $2^m,17$, паралакс $0'',037$, а перший компонент яскравіший другого в 4,37 рази.
681. Знайти фотографічну світність подвійної зірки η Кассіопеї, візуальний блиск компонентів якої $3^m,5$ і $7^m,19$, їх звичайні показники кольору $+0^m,57$ і $+0^m,63$, а відстань 5,49 пк.
682. Обчислити маси компонентів затемнюваних зір за наступними даними:

Зірка	Променева швидкість компонентів	Період змінності
β Персея	44км/с і 220км/с	$2^d,867$
U Змієноця	180км/с і 205км/с	$1^d,667$
WW Візничого	117км/с і 122км/с	$2^d,525$
U Цефея	44км/с і 200км/с	$2^d,493$

683. Обчислити суму мас подвійної зірки, якщо велика піввісь їх орбіти 0,85 а.о., а період обертання 0,285 р.
684. Визначити суму мас подвійної зірки Проціон, якщо період обертання її супутника навколо головної зірки 39 років, а велика піввісь орбіти 13 а.о.
685. Велика піввісь орбіти подвійної зірки α Центавра видно під кутом $17'',65$. У скільки разів ця відстань більша відстані Землі від Сонця? Паралакс зірки $0'',75$.

686. Обчислити масу подвійної зірки α Центавра, у якої $\pi = 0'',75$, $P = 79$ років, $a = 17'',6$.
687. Період обертання подвійної зірки ε Гідри 15,3 року, паралакс $0'',02$ і кутові розміри великої півосі орбіти $0'',23$. Визначити лінійні розміри більшої півосі і суму мас компонентів.
688. Паралакс подвійної зірки α Близнюків $0'',076$, видимі кутові розміри великої півосі орбіти $6'',06$ і період обертання 306 років. Визначити суму мас компонентів.
689. У скільки разів змінюється візуальний блиск змінних зір β Персея і χ Лебеда, якщо у першої зірки він коливається в межах від $2^m,2$ до $3^m,5$, а у другої – від $3^m,3$ до $14^m,2$?
690. У скільки разів змінюється візуальна і болометрична світність змінних зір α Оріона і α Скорпіона, якщо у першої зірки візуальний блиск коливається від $0^m,4$ до $1^m,3$ і болометрична поправка від $-3^m,1$ до $-3^m,4$, а у другої зірки – блиск від $0^m,9$ до $1^m,8$ і болометрична поправка від $-2^m,8$ до $-3^m,0$?
691. У яких межах і у скільки разів змінюються лінійні радіуси змінних зір α Оріона і α Скорпіона, якщо у першої зірки паралакс $0'',005$ і кутовий радіус змінюється від $0'',034$ (в максимумі блиску) до $0'',047$ (в мінімумі блиску), а у другої – паралакс $0'',019$ і кутовий радіус – від $0'',028$ до $0'',04$?
692. За даними двох попередніх задач обчислити температуру Бетельгейзе і Антареса в максимумі їх блиску, якщо в мінімумі температура першої зірки 3200 К, а другої – 3300 К.
693. У скільки разів і з яким добовим градієнтом змінюється світність в жовтих і синіх променях змінних зір-цефеїд α Малої Ведмедиці, ζ Близнюків, η Орла, ТУ Щита і UZ Щита, відомості про змінність яких наступні:

Зірка	Період	Блиск в синіх променях		Основний показник кольору	
		в максимумі	в мінімумі	в максимумі	в мінімумі
α М.Ведмедиці	$3^d,50$	$2^m,66$	$2^m,66$	$+0^m,56$	$+0^m,61$
ζ Близнюків	$10^d,15$	$4^m,38$	$5^m,18$	$+0^m,70$	$+1^m,02$
η Орла	$7^d,18$	$4^m,08$	$5^m,36$	$+0^m,59$	$+1^m,04$
ТУ Щита	$11^d,05$	$11^m,79$	$13^m,19$	$+1^m,47$	$+2^m,00$
UZ Щита	$14^d,74$	$12^m,43$	$13^m,80$	$+1^m,63$	$+2^m,12$

694. За даними попередньої задачі знайти амплітуди зміни блиску (в жовтих і синіх променях) і основних показників кольору зір, побудувати графіки залежності амплітуд від періоду змінності.
695. У мінімумі блиску візуальна зоряна величина зірки δ Цефея $4^m,3$, а зірки R Трикутника $12^m,6$. Який блиск цих зір у максимумі світності, якщо вона у них зростає відповідно в 2,1 і 760 разів?
696. Блиск Нової Орла змінився за 2,5 діб з $10^m,5$ до $1^m,1$. У скільки разів він збільшився і як в середньому змінювався протягом півдобі?
697. Блиск Нової Лебедя до спалаху був 21^m , а в максимумі збільшився до $1^m,9$. Якщо вважати, що в середньому абсолютна зоряна величина нових зір у максимумі блиску буває близько -8^m , то яку світність мала ця зірка до спалаху і в максимумі блиску та на якій приблизно відстані від Сонця зірка знаходиться?
698. У спектрі нової зірки в сузір'ї Геркулеса темні лінії були зміщені відносно нормального положення до фіолетового кінця. Лінія H_γ ($\lambda = 4341 \text{ \AA}$) була зміщена на $10,1 \text{ \AA}$. Яка швидкість газу, який скинула зірка?
699. Емісійні водневі лінії 4861 \AA і 4340 \AA в спектрі Нової Орла були зміщені до фіолетового кінця спектру відповідно на $39,8 \text{ \AA}$ і $35,6 \text{ \AA}$, а в спектрі Нової Лебедя – на $40,5 \text{ \AA}$ і $36,2 \text{ \AA}$. З якою швидкістю розширювалися газові оболонки, скинуті цими зірками?
700. Кутові розміри галактики M81 в сузір'ї Великої Ведмедиці $35' \times 14'$, а галактики M51 в сузір'ї Гончих Псів – $14' \times 10'$. Найбільший блиск наднових зір, що спалахнули в різний час в цих галактиках, дорівнював відповідно $12^m,5$ і $15^m,1$. Приймаючи в середньому абсолютну зоряну величину наднових зір у максимумі блиску -15^m , знайти відстані до цих галактик і їх лінійні розміри.

§15. Рух зір і галактик у просторі

Просторова швидкість зірки складається з систематичної компоненти, пов'язаної з рухом зірки навколо центру Галактики, і хаотичної (пекулярної) компоненти. Швидкості близьких в просторі зір відрізняються внаслідок відмінності їх хаотичних компонентів швидкостей. Зазвичай хаотичні швидкості зір порядку десятків км/с.

Просторову швидкість зірки можна спроектувати на промінь зору і на площину, перпендикулярну до променя зору (її називають *картинною площиною*). Проекція швидкості зірки на промінь зору називається *променевою швидкістю* v_r , на картинну площину – *тангенціальною швидкістю* v_τ .

Просторова швидкість v зір завжди визначається відносно Сонця (рис. 26) і обчислюється за променевою швидкістю, направленою вздовж променя r , що з'єднує зірку з Сонцем, і за тангенціальною швидкістю.

$$v = \sqrt{v_r^2 + v_\tau^2}.$$

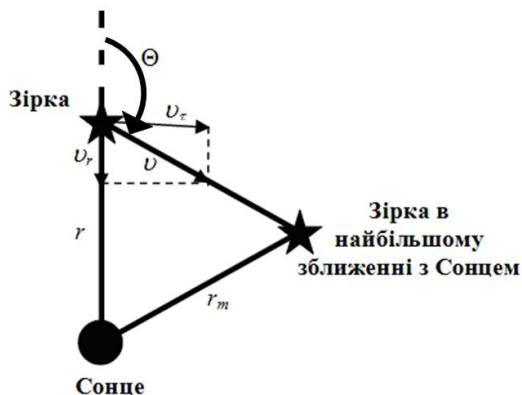


Рис. 26. Рух зірки відносно Сонця

Напрямок просторової швидкості зірки характеризується кутом Θ між нею і променем зору спостерігача. Очевидно, що

$$\cos \Theta = \frac{v_r}{v}, \quad \sin \Theta = \frac{v_\tau}{v}, \quad \text{причому } 0^\circ \leq \Theta \leq 180^\circ.$$

Променеву швидкість зірки v_r можна визначити досить швидко. Для цього досить отримати спектр зірки.

Якщо спектр отриманий на призматичному інструменті (призматичний спектр), то фіолетова частина спектру виходить розтягнутою, а його червона частина – стиснутою, і відстані між спектральними лініями вже не будуть пропорційні різницям довжин хвиль. Тому при обробці фотографії спектру – *спектрограми*, необхідно перш за все встановити масштаб різних ділянок спектру, тобто інтервал довжин хвиль, що вкладається на одиниці довжини кожної ділянки спектрограми. Цей масштаб – *дисперсія* ділянки спектрограми, дорівнює

$$D = \frac{\Delta\lambda}{\Delta x}$$

і виражається, як правило, в ангстремах на мм ($\text{\AA}/\text{мм}$). Дисперсія призматичного спектру не постійна і зменшується при переході від фіолетової до червоної частини спектру (величина D збільшується). Зміна дисперсії спектрограми наочно зображується дисперсійною кривою $x = f(\lambda)$, яка будується за положенням спектральних ліній з відомою довжиною хвилі, наприклад, за лініями бальмерівської серії водню.

Якщо в спектрі зірки лінія з довжиною хвилі λ зміщена від свого нормального (лабораторного) положення на величину Δx мм, а дисперсія спектрограми на даній ділянці дорівнює $D \text{ \AA}/\text{мм}$, то зміщення лінії, виражене в \AA :

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \Delta x D$$

і променева швидкість

$$v_r = c \frac{\Delta\lambda}{\lambda}.$$

Якщо променева швидкість направлена до спостерігача, то спектральні лінії зміщуються в фіолетовий бік спектру, $\lambda' < \lambda$, $\Delta\lambda < 0$, $v_r < 0$.

Якщо променева швидкість направлена від спостерігача, то спектральні лінії зміщуються в червоний бік спектру, $\lambda' > \lambda$, $\Delta\lambda > 0$, $v_r > 0$.

Результати визначення v_r за різними лініями спектру будуть дещо відрізнятись. Обчислимо їх середнє арифметичне:

$$\bar{v}_r = \frac{\sum_{i=1}^n v_{r_i}}{n},$$

що і вважатимемо найбільш вірогідним значенням променевої швидкості зірки.

Проте значення v_r характеризує не власну променеву швидкість зірки, а відносну променеву швидкість руху зірки і Землі, тобто містить проекцію орбітальної швидкості Землі на напрям до зірки.

Тому променеву швидкість зірки v_r треба виправити за рахунок руху Землі. Променева швидкість зірки V_r відносно Сонця:

$$V_r = v_r - 29,8 \cdot \sin(\lambda_* - \lambda_\odot) \cdot \cos \beta_*,$$

де λ_* – екліптична довгота і β_* – екліптична широта зірки, λ_\odot – екліптична довгота Сонця в день отримання спектрограми зірки (береться з астрономічного щорічника), а число 29,8 виражає колову швидкість Землі в кілометрах за секунду.

Швидкість V_r (або v_r) додатна в напрямку від Сонця (або від Землі) і від’ємна в напрямку до Сонця (або до Землі).

Тангенціальна швидкість v_t зірки в кілометрах за секунду визначається за її річним паралаксом π і власним рухом μ , тобто за дугою, на яку зміщується зірка на небосхилі за 1 рік:

$$v_t (\text{км/с}) = 4,74 \cdot \mu (1''/\text{рік}) \cdot r(\text{пк}) = 4,74 \cdot \frac{\mu (1''/\text{рік})}{\pi''}.$$

Через величезне віддалення зір від Сонця їх власні рухи, як правило, дуже малі, порядку десятих і сотих кутової секунди, і тому надійно визначаються за змінами екваторіальних координат зір лише за значні проміжки часу. Один з методів заснований на порівнянні екваторіальних координат зір в різні епохи t_1 і t_2 , причому *епохою* називається певний момент року, до якого віднесено положення сітки екваторіальних координат і на який даються екваторіальні координати зір. Епоха завжди позначається номером року і його десятими долями. Так, епоха 2000,0 позначає початок 2000 року, а епоха 2013,5 – середину 2013 року.

Нехай в епоху t_1 екваторіальні координати зірки M були α_1 і δ_1 , а в епоху t_2 – відповідно, α_2 і δ_2 . За різницю епох $\Delta t = t_2 - t_1$ екваторіальні координати зірки зміняться не стільки за рахунок її власного руху, скільки (і головним чином) за рахунок прецесійного повороту сітки екваторіальних координат на $50''$,2 за рік (рис. 27).

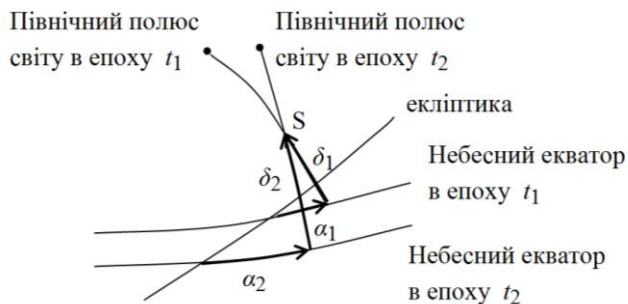


Рис. 27. Зміна екваторіальних координат зірки в різні епохи

Тому, щоб визначити власний рух μ зірки, потрібно перш за все звільнити зміну її екваторіальних координат від впливу прецесії, що досягається приведенням екваторіальних координат α_2 і δ_2 до координатної сітки першої епохи t_1 . Для цього від α_2 і δ_2 віднімається прецесія за різницю епох Δt і тоді нові екваторіальні координати зірки, приведені до першої епохи:

$$\alpha = \alpha_2 - P_\alpha \Delta t,$$

$$\delta = \delta_2 - P_\delta \Delta t,$$

де P_α і P_δ – відповідно, річна прецесія по прямому сходженню і схиленню.

Значення P_α і P_δ для екваторіальних координат наводяться в спеціальних таблицях прецесії (додаток 16, додаток 17), в астрономічних календарях і довідниках.

Якщо виявиться, що $\alpha = \alpha_2$ і $\delta = \delta_2$, то власний рух μ зірки дуже малий і практично не помітний.

При відмінності екваторіальних координат знаходять компоненти власного руху μ_α і μ_δ по координатах і за ними знаходять власний рух

$$\mu = \sqrt{\mu_\alpha^2 + \mu_\delta^2},$$

причому ці компоненти мають бути виражені обов'язково в секундах дуги.

Визначення μ_δ в секундах дуги не викликає проблем, оскільки μ_δ вимірюється вздовж дуги великого кола, по колу схилення зірки, і тому

$$\mu_\delta = \frac{\delta - \delta_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta \delta}{\Delta t},$$

де $\Delta\delta$ виражається в секундах дуги.

Компонент μ_α направлений вздовж дуги малого кола, по небесній паралелі зірки, тоді як різниця $\Delta\alpha = \alpha - \alpha_1$ вимірюється дугою великого кола – небесного екватора, і тому

$$\mu_\alpha = \frac{\alpha - \alpha_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta\alpha}{\Delta t}$$

виражене в секундах часу (с).

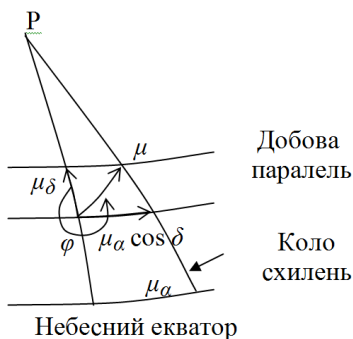


Рис 28. Позиційний кут

Якщо уявити собі кілька зір з однаковими μ , μ_α , μ_δ , але з різним схиленням δ , то числові значення μ_α у всіх цих зір будуть різними за рахунок сходження кіл схилен' до полюсів світу, і найбільше значення μ_α буде в зірки з найбільшим за абсолютною величиною схиленням δ . Ця похибка усувається приведенням μ_α до небесної паралелі зірки, що досягається врахуванням його схилення, і так як $1^\circ = 15''$, то виражене в секундах дуги μ_α підставляється у формулу

$$\mu = \sqrt{(15\mu_\alpha \cos \delta)^2 + \mu_\delta^2}.$$

Напрямок власного руху зірки визначається позиційним кутом φ (рис. 28), який відраховується проти годинникової стрілки від північного напрямку кола схилення зірки. Залежно від зміни екваторіальних координат зірки, позиційний кут φ власного руху може приймати значення від 0° до 360° і обчислюється за формулами:

$$\sin \varphi = \frac{15\mu_\alpha \cos \delta}{\mu}, \quad \cos \varphi = \frac{\mu_\delta}{\mu}.$$

У 1929 році Хаббл встановив, що лінії спектрів усіх галактик, за винятком кількох найближчих до нас, зміщені в бік довших хвиль і це зміщення (червоне зміщення z) тим більше, чим далі знаходиться галактика. Єдиним поясненням цього явища є ефект Доплера, який полягає у зменшенні частоти світла в результаті збільшення віддалі між джерелом світла і спостерігачем. У цьому випадку є справедливим закон Хаббла

$$v_r = Hr,$$

де v_r – швидкість віддалення галактики, r – віддаль до галактики в мегапарсеках, H – коефіцієнт пропорційності, який носить назву сталої Хаббла.

В галактик і квазарів власний рух $\mu = 0$ і тому для них визначається лише променева швидкість v_r , а оскільки ця швидкість велика, то швидкістю Землі нехтують і тоді $V_r = v_r$.

Позначаючи $\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = z$, отримаємо для порівняно близьких галактик, для яких $z \leq 0,1$

$$V_r = cz$$

і, згідно закону Хаббла, їх відстань в мегапарсеках (Мпк)

$$r = \frac{V_r}{H},$$

де значення сталої Хаббла $H = 75 \text{ км}/(\text{с} \cdot \text{Мпк})$.

Для далеких галактик і квазарів, для яких $z > 0,1$, слід користуватися релятивістською формулою

$$V_r = \frac{(1+z)^2 - 1}{(1+z)^2 + 1} c,$$

а оцінка їх відстаней залежить від прийнятої космологічної моделі Всесвіту. Так, в закритій пульсуючій моделі

$$r = \frac{c}{H} \cdot \frac{z}{z+1},$$

а у відкритій моделі Ейнштейна-де Сіттера

$$r = \frac{2c}{H} \cdot \left(1 - \frac{1}{\sqrt{z+1}}\right).$$

Абсолютна зоряна величина галактики визначається на основі фундаментальної формули зоряної астрономії.

$$M = m + 5 - 5 \lg r .$$

Тут r – віддаль до галактики в парсеках; m – фотографічна або візуальна зоряна величина галактики. Світність галактики визначається за формулою

$$\lg(L/L_{\odot}) = 0,4(M_{\odot} - M)$$

або

$$L = 10^{0,4(M_{\odot} - M)} L_{\odot} .$$

Знаючи віддаль до галактики і її кутові розміри, можна знайти її лінійні розміри

$$d = r \frac{d'}{3438'} ,$$

де d' – кутові розміри галактики у хвилинах дуги, 3438' – число хвилин у радіані.

Приклади розв'язування задач

Приклад 1. У спектрі зірки лінія гелію з довжиною хвилі 5016 Å зміщена на 0,017 мм до червоного кінця спектру при дисперсії спектрограми на цій ділянці 20 Å/мм. Екліптична довгота зірки 47°55' і її екліптична широта –26°45', а під час фотографування спектру екліптична довгота Сонця була близькою до 223°14'. Визначити променеву швидкість зірки.

Дано: спектр, $\lambda = 5016 \text{ Å}$, $\Delta x = +0,017 \text{ мм}$, $D = 20 \text{ Å/мм}$; зоря, $\lambda_* = 47^\circ 55'$, $\beta_* = -26^\circ 45'$; Сонце, $\lambda_{\odot} = 223^\circ 14'$.

Розв'язок.

Знаходимо зміщення спектральної лінії:

$$\Delta \lambda = \Delta x D = +0,017 \cdot 20 = +0,34 \text{ Å}$$

і променеву швидкість зірки відносно Землі:

$$v_r = c \frac{\Delta \lambda}{\lambda} = 3 \cdot \frac{+0,34}{5016} = +20,5 \frac{\text{км}}{\text{с}} .$$

Щоб визначити променеву швидкість V_r зірки відносно Сонця, необхідно знайти

$$\sin(\lambda_* - \lambda_{\odot}) = \sin(47^\circ 55' - 223^\circ 14') = -0,0816$$

$$\cos \beta_* = \cos(-26^\circ 45') = +0,8930 ,$$

і тоді

$$V_r = v_r - 29,8 \cdot \sin(\lambda_* - \lambda_{\odot}) \cos \beta_* = +22,7 \frac{\text{км}}{\text{с}}.$$

Приклад 2. В спектрі квазара, фотографічний блиск якого $15^{\text{м}},5$ і кутовий діаметр $0'',03$ емісійна лінія водню H_{β} з довжиною хвилі 4861 \AA займає положення, що відповідає довжині хвилі 5421 \AA . Знайти променеву швидкість, відстань, лінійні розміри і світність цього квазара.

Дано: $m_{pg} = 15^{\text{м}},5$, $\Delta = 0'',03$; H_{β} , $\lambda' = 5421 \text{ \AA}$, $\lambda = 4861 \text{ \AA}$.

Розв'язок.

З формули $\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \Delta x \cdot D$, зміщення спектральної лінії водню:

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = 5421 - 4861 = +560 \text{ \AA}$$

$$\text{і } z = \frac{\Delta\lambda}{\lambda} = + \frac{560}{4861} = +0,115.$$

Оскільки $z > 0,1$, то променева швидкість квазара:

$$V_r = \frac{(1+z)^2 - 1}{(1+z)^2 + 1} c = \frac{(0,115+1)^2 - 1}{(0,115+1)^2 + 1} \cdot c = +0,108 \cdot c$$

або

$$V_r = 0,108 \cdot 3 \cdot 10^5 \text{ км/с} = +32400 \text{ км/с}.$$

З формули $r = \frac{c}{H} \cdot \frac{z}{1+z}$ в закритій пульсуючій моделі

Всесвіту відстань до квазара

$$r = \frac{c}{H} \cdot \frac{z}{1+z} = \frac{3 \cdot 10^5}{50} \cdot \frac{0,115}{1+0,115}; r = 619 \text{ Мпк} = 619 \cdot 10^6 \text{ пк}$$

або

$$r = 619 \cdot 10^6 \cdot 3,26 \text{ св.р.} = 2,02 \cdot 10^9 \text{ св.р.}$$

Тоді, з $R = r \frac{\rho''}{206265''}$, лінійний діаметр квазара

$$D = r \frac{\Delta''}{206265''} = 619 \cdot 10^6 \cdot \frac{0'',03}{206265''} = 90 \text{ пк}$$

або

$$D = 90 \cdot 3,26 = 293 \text{ св.р.}$$

Згідно формули $M = m + 5 - 5 \lg r$, його абсолютна фотографічна зоряна величина

$$M_{pg} = m_{pg} + 5 - 5 \lg r = 15^m,5 + 5 - \lg 619 \cdot 10^6 = -23^m,5,$$

і з формули $\lg L = 0,4(M_{\odot} - M)$

$$\lg L_{pg} = 0,4(M_{\odot pg} - M_{pg}) = 0,4 \cdot (5^m,36 + 23^m,5) = 11,54$$

звідки світність $\lg L_{pg} = 347 \cdot 10^9$, тобто дорівнює світності 347 мільярдів зір типу Сонця.

Ті ж величини в моделі Ейнштейна-де Ситтера отримуються з формули

$$r = \frac{2c}{H} \left(1 - \frac{1}{\sqrt{1+z}} \right) = \frac{2 \cdot 3 \cdot 10^5}{50} \left(1 - \frac{1}{\sqrt{1+0,115}} \right)$$

$$\text{або } r = 636 \cdot 10^6 \cdot 3,26 \text{ св.р.} = 2,07 \cdot 10^9 \text{ св.р.}$$

$$D = 92,5 \text{ нк} = 302 \text{ св.р.},$$

$$M_{pg} = -23^m,5$$

$$L_{pg} = 347 \cdot 10^9.$$

Задачі для самостійного розв'язування

701. У спектрі зірки лінія кальцію з довжиною хвилі 4227 Å, зміщена до фіолетового кінця спектру на 0,7 Å. Визначити, з якою швидкістю рухається зірка по променю зору і чи наближається вона до Землі чи віддаляється?
702. Яка в ангстремах зміна довжини хвилі лінії D натрію ($\lambda = 5896,16 \text{ Å}$) при швидкості руху 160,9 км/с?
703. Число коливань за секунду для червоних променів $451 \cdot 10^{12}$, для фіолетових – $783 \cdot 10^{12}$. Які довжини хвиль їм відповідають?
704. Поблизу сонячної плями в спектрі деякої точки диска червона воднева лінія H_{α} ($\lambda = 6563,0 \text{ Å}$) змістилася так, що її довжина хвилі виявилася 6566 Å. Яка променева швидкість водню в цій точці?

705. На скільки ангстрем зміниться довжина хвилі зелено-голубої лінії водню H_β ($\lambda = 4861,5 \text{ \AA}$) в точці сонячного диска, де водень віддаляється від нас зі швидкістю 137 км/с ?
706. Лінії поглинання водню H_ζ і H_δ , довжини хвиль яких 4861 \AA і 4102 \AA , зміщені в спектрі зірки до червоного кінця відповідно на $0,66$ і $0,56 \text{ \AA}$. Визначити променеву швидкість зірки.
707. Розв'язати попередню задачу для зірки Регул (α Лева), якщо ті ж лінії в її спектрі зміщені до фіолетового кінця відповідно на $0,32 \text{ \AA}$ і $0,27 \text{ \AA}$.
708. В яку сторону спектру і на скільки міліметрів зміщені лінії поглинання заліза з довжиною хвилі 5270 \AA і 4308 \AA в спектрограмі зірки з променевою швидкістю -60 км/с , якщо дисперсія спектрограми на першій ділянці дорівнює 25 \AA/мм , а на другій – 20 \AA/мм ?
709. Дисперсія спектрограми зірки 60 \AA/мм близько H_γ . Ця лінія в спектрі зірки зміщена від нормального положення на $0,005 \text{ мм}$ до фіолетового кінця спектра. Яка за принципом Доплера швидкість зірки в кілометрах за секунду? Лабораторна довжина хвилі лінії H_γ 4341 \AA .
710. Припустимо, що дисперсія спектрографа лінійна і що весь видимий спектр зірки займає на пластинці довжину 5 см . Яке повинно бути в цьому випадку лінійне зміщення на пластинці лінії спектра, що має в лабораторії довжину хвилі 5000 \AA , якщо зірка наближається до нас зі швидкістю 10 км/с ?
711. Обчислити положення водневих ліній поглинання H_β , H_δ і H_α в спектрах зір, променева швидкість однієї з яких відносно Землі дорівнює -50 км/с , а іншої – $+30 \text{ км/с}$. Нормальна довжина хвиль цих ліній відповідно 4861 , 4102 і 3750 \AA .
712. Зірки β Дракона і γ Дракона знаходяться поблизу північного полюса екліптики. Лінії заліза з $\lambda = 5168 \text{ \AA}$ і $\lambda = 4384 \text{ \AA}$ в спектрі першої зірки зміщені до фіолетового кінця на $0,34 \text{ \AA}$ і $0,29 \text{ \AA}$, а в спектрі другої зірки – на $0,47 \text{ \AA}$ і $0,4 \text{ \AA}$. Визначити променеву швидкість цих зір.
713. Знайти променеву швидкість зірки Канопус (α Кіля), якщо в ніч спостережень екліптична довгота Сонця була

близькою до екліптичної довготи зірки, а лінії поглинання заліза E (5270 Å) і G (4326 Å) в спектрограмі зірки зміщені до червоного кінця відповідно на 0,018 мм і 0,02 мм, при дисперсії 20 Å/мм на першій ділянці спектрограми і 15 Å/мм на другій її ділянці.

714. У ніч фотографування спектру зірки Вега (α Ліри) її екліптична довгота відрізнялася від екліптичної довготи Сонця на 180° , і лінії поглинання водню H_β (4861 Å) і H_γ (4102 Å) зміщені до фіолетового кінця спектрограми відповідно на 0,0225 мм і 0,038 мм при дисперсії на ділянках розташування цих ліній 10 Å/мм і 5 Å/мм. Знайти променеву швидкість Веги.
715. За яких умов поправка приведення променевої швидкості зір до Сонця дорівнює нулю і при яких її абсолютне значення стає найбільшим?
716. Променева швидкість Арктура -22 км/с, а тангенціальна швидкість 23 км/с. Знайти кут, утворений напрямком руху зірки з променем зору.
717. Променева швидкість Бетельгейзе $+21$ км/с, власний рух $0'',032$ за рік, а паралакс $0'',012$. Визначити просторову швидкість зірки відносно Сонця і кут, утворений напрямком руху зірки в просторі з променем зору.
718. Повна просторова швидкість β Південного Хреста 21 км/с, а променева $+13$ км/с. Визначити тангенціальну швидкість зірки.
719. Повна просторова швидкість зірки Канопус 23 км/с утворює кут 37° з променем зору. Визначити променеву та тангенціальну складові швидкості.
720. Напрямок руху Капелли утворює кут $48^\circ,2$ з променем зору; просторова швидкість її руху 45 км/с. Визначити річний власний рух зірки, якщо її паралакс $0'',063$.
721. За наведеними в таблиці даними знайти величину і позиційний кут тангенціальної швидкості зір.

Зірка	Схилення	Річний паралакс	Компоненти власного руху	
			по α	по δ
α Близнюків	$+32^\circ00'$	$0'',072$	$-0''0130$	$+0'',110$
γ Близнюків	$+16^\circ27'$	$0'',031$	$-0''033$	$-0'',046$
ρ Близнюків	$+31^\circ53'$	$0'',059$	$-0''0121$	$+0'',154$
β Гончих псів	$+41^\circ38'$	$0'',108$	$-0''0629$	$+0'',284$

722. Компоненти власного руху зірки з координатами $\alpha = 11^{\text{h}}36^{\text{m}}.8$, $\delta = +27^{\circ}20'$ наступні: $\mu_{\alpha} = 0^{\circ}.0465$ і $\mu_{\delta} = -0''.795$. Визначити власний рух μ і позиційний кут ϕ .
723. Компоненти власного руху зірки з координатами $\alpha = 22^{\text{h}}28^{\text{m}}.8$, $\delta = +8^{\circ}52'$ наступні: $\mu_{\alpha} = +0^{\circ}.036$ і $\mu_{\delta} = +0''.152$. Визначити власний рух μ і позиційний кут ϕ .
724. Власний рух зірки $\mu = 1''.24$ в напрямку, позиційний кут якого 165° . Визначити компонент власного руху μ_{δ} .
725. Власний рух зірки ($\alpha = 15^{\text{h}}58^{\text{m}}.5$, $\delta = 20^{\circ}56'$) $\mu = 1''.59$ в напрямку, позиційний кут якого 218° . Визначити компоненти власного руху по координатах μ_{α} і μ_{δ} .
726. Річний власний рух «Зірки Барнарда» $10''.25$, паралакс $0''.546$. Яка її тангенціальна швидкість?
727. Чому дорівнює тангенціальна швидкість Сиріуса, якщо його паралакс дорівнює $0''.371$, а річний власний рух $1''.315$?
728. Координати Сиріуса такі: $\alpha = 6^{\text{h}}41^{\text{m}}.8$, $\delta = -16^{\circ}35'$. Його власний рух за прямим сходженням $-0''.0374$, а за схиленням $-1''.209$ за рік, променева швидкість -7.5 км/с, паралакс $0''.38$. Визначити просторову швидкість Сиріуса відносно Сонця і кут, утворений нею з променем зору.
729. Обчислити тангенціальну швидкість зір, паралакс і власний рух яких вказані після їх назв: Альтаїр (α Орла) $0''.198$ і $0''.658$; Спіка (α Діви) $0''.021$ і $0''.054$; ϵ Індіанця $0''.285$ і $4''.69$.
730. Для зір попередньої задачі знайти компоненти власного руху за екваторіальними координатами. Позиційний кут власного руху і схилення кожної зірки вказані після її назви: Альтаїр $54^{\circ}.4$ і $+8^{\circ}44'$; Спіка $229^{\circ}.5$ і $-10^{\circ}54'$; ϵ Індіанця 123° і -57° .
731. Променева швидкість Веги дорівнює -14 км/с, власний рух $0''.348$ в рік, а паралакс $0''.124$. Визначити просторову швидкість зірки відносно Сонця.
732. Променева швидкість Альдебарана $+54$ км/с, а тангенціальна швидкість 18 км/с. Знайти просторову швидкість зірки відносно Сонця.
733. За який інтервал часу і в якому напрямку зорі із задачі 730 змістяться на діаметр місячного диска ($30'$) і якими будуть тоді їх екваторіальні координати в координатній

сітці 1950.0, якщо у цій сітці їх координати: у Альтаїра $19^{\text{h}}8^{\text{m}}20^{\text{s}},6$ і $+8^{\circ}44'5''$, у Спіки $13^{\text{h}}22^{\text{m}}33^{\text{s}},3$ і $-10^{\circ}54'4''$ і у ϵ Індіанця $21^{\text{h}}59^{\text{m}}33^{\text{s}}$ і $-56^{\circ}59'34''$?

734. Якими будуть екваторіальні координати зір попередньої задачі в 2000 р. в координатній сітці цього року, якщо в місцях їх розташування річна прецесія за прямим сходженням і схиленням (в послідовності перерахунку зір) дорівнює $+2^{\circ},88$ і $+9'',1$; $+3^{\circ},16$ і $-18'',7$; $+4^{\circ}10'$ і $+17'',4$?
735. Променева швидкість зірки Ахернар (α Еридана) $+19$ км/с, річний паралакс $0'',032$ і власний рух $0'',098$, а у зірки Денеб (α Лебеда) аналогічні величини дорівнюють відповідно -5 км/с, $0'',004$ і $0'',003$. Знайти величину і напрямок просторової швидкості цих зір.
736. У спектрі зірки Проціон (α Малого Пса) лінії поглинання заліза з довжиною хвилі 5168 \AA і 4326 \AA зміщені (з врахуванням швидкості Землі) до фіолетового кінця відповідно на $0,052 \text{ \AA}$ і $0,043 \text{ \AA}$. Компоненти власного руху зірки $-0^{\circ},0473$ за прямим сходженням і $-1'',032$ за схиленням, а її паралакс $0'',288$. Знайти величину і напрямок просторової швидкості Проціона, схилення якого $+5^{\circ}29'$.
737. На спектрограмі зірки Капелла (α Візничого) лінії поглинання заліза з довжиною хвилі 4958 \AA і 4308 \AA зміщені до червоного кінця на $0,015 \text{ мм}$ при дисперсії на цих ділянках відповідно 50 \AA/мм і 44 \AA/мм . Схилення зірки $+45^{\circ}58'$, екліптична довгота $81^{\circ}10'$, екліптична широта $+22^{\circ}52'$, паралакс $0'',073$, а компоненти власного руху $+0^{\circ},0083$ і $-0'',427$. У ніч спостережень екліптична довгота Сонця була $46^{\circ}18'$. Знайти величину і напрямок просторової швидкості зірки.
738. У дану епоху візуальний блиск зірки Вега (α Ліри) $+0^{\text{m}},14$, її власний рух $0'',345$, паралакс $0'',123$ і променева швидкість -14 км/с. Знайти епоху найбільшого зближення Веги з Сонцем і обчислити для неї відстань, паралакс, власний рух, променеву та тангенціальну швидкість і блиск цієї зірки.
739. Розв'язати попередню задачу для зірки Толіман (α Центавра), візуальний блиск якої в сучасну епоху

- дорівнює $+0^m,06$, власний рух $3'',674$, паралакс $0'',751$ і променева швидкість -25 км/с. Якими були шукані величини 10 тис. років тому і якими вони будуть через 10 тис. років після епохи найбільшого зближення?
740. Визначити дату найбільшого зближення «зірки Барнарда» з Сонцем, якщо для неї сучасні дані такі: $m = 9^m,57$, $\mu = 10'',25$, $\pi = 0'',546$, $v_r = 117$ км/с, $v_t = 90$ км/с.
741. Які будуть паралакс і власний рух «зірки Барнарда» (див. попередню задачу) через 2000 років?
742. У спектрах далеких галактик і квазарів спостерігається зміщення ліній до червоного кінця (червоне зміщення). Якщо це явище інтерпретувати як ефект Доплера, то яку променеву швидкість мають названі об'єкти при червоному зміщенні, що становить відповідно 0,1, 0,5 і 2 довжини хвилі спектральних ліній?
743. За даними попередньої задачі обчислити відстань тих же об'єктів в двох космологічних моделях.
744. Знайти червоне зміщення у спектрах негалактичних об'єктів, променева швидкість яких дорівнює 0,25 і 0,75 швидкості світла.
745. Яка відмінність в променевих швидкостях об'єктів попередньої задачі, якщо замість релятивістської формули ефекту Доплера використовувати звичайну формулу цього ефекту?
746. У таблиці наведені дані про три галактики:

Позначення галактики	Сузір'я	Видимі розміри	Видима зоряна величина	Зсув спектральних ліній Н і К
M101	В. Ведмедиця	$28' \times 28'$	$8^m,2$	$6,9\text{\AA}$
M96	Лев	$11' \times 8'$	$10^m,0$	$10,3\text{\AA}$
M88	В. Вероніки	$9' \times 6'$	$10^m,1$	$15,8\text{\AA}$

Знаючи, що у ліній Н і К іонізованого кальцію довжина хвилі 3968 \AA і 3934 \AA , знайти променеву швидкість, відстань, лінійні розміри, абсолютну зоряну величину і світність цих галактик.

747. У спектрі квазара СТА102, блиск якого $17^m,3$, зсув емісійних ліній перевищує відповідну довжину хвилі в 1,037 рази, а в спектрі квазара PKS 0237-23 (блиск $16^m,6$)

- у 2,223 рази. На яких відстанях знаходяться ці квазари і які їх світності?
748. Обчислити відстань, лінійні розміри і світності квазара 3C48, якщо його кутовий діаметр $0'',56$, блиск $16^m,0$, а лінія ($\lambda = 2798 \text{ \AA}$) іонізованого магнію зміщена в його спектрі до положення $\lambda = 3832 \text{ \AA}$.
749. Розв'язати попередню задачу для квазара 3C273 з кутовим діаметром $0'',24$ і блиском $12^m,8$, якщо емісійні лінії водню в його спектрі зміщені: H_β (4861 \AA) до $\lambda = 5640 \text{ \AA}$; H_γ (4340 \AA) до $\lambda = 5030 \text{ \AA}$ і H_δ (4102 \AA) до $\lambda = 4760 \text{ \AA}$.
750. В одного з найбільш віддалених квазарів червоне зміщення дорівнює 3,53 нормальної довжини спектральних ліній. Знайти променеву швидкість квазара і оцінити відстань до нього.

Відповіді

1. 1,95 м.
2. 2981 м.
3. На схід.
4. Сонце повинно завжди знаходитись ліворуч.
5. Південний полюс.
7. $34^{\circ}15'$.
8. 90° – ф.
9. На полюсах.
10. Екліптика, перший вертикал, точки рівнодень та сонцестоянь.
11. Як велике коло, нахилене до горизонту під кутом $23^{\circ}26'$.
12. На полярних колах: на північному – в момент сходу точки весняного рівнодення, на південному – в момент її заходу.
14. $57^{\circ}41'$ і $10^{\circ}49'$.
15. $84^{\circ}30'$.
16. $11^{\circ}30'$ і $58^{\circ}30'$; 0° і 47° .
17. $\sqrt{r_1^2 + r_2^2 - 2r_1r_2 \cos \Theta}$.
18. Південний полюс світу, північний полюс світу, небесний екватор.
19. $89^{\circ}15'51''$.
20. 180° , 0° , 270° , 90° .
21. 42° .
22. $A = 180^{\circ}$, $h = 23^{\circ}26'$.
23. 0° , 180° .
24. 6° , 18° .
25. $\alpha = \delta = 0^{\circ}$.
26. Для точки весняного рівнодення, $\lambda = \beta = 0^{\circ}$.
27. $\beta = 66^{\circ}34'$, $\lambda = 90^{\circ}$.
28. $\alpha = 18^{\circ}$, $\delta = 66^{\circ}34'$.
29. λ – невизначена, $\beta = 90^{\circ}$.
30. $18^{\circ}57'_{\text{XB}} 1^{\circ}_{\text{C}}, 13$; $1^{\circ}11'_{\text{XB}} 48^{\circ}_{\text{C}}, 07$, $12^{\circ}44'_{\text{XB}} 55^{\circ}_{\text{C}}, 93$.
31. $49^{\circ}17'15''$; $285^{\circ}39'15''$, $315^{\circ}45''$.
32. Південно-західний.
33. Східний.

34. На північному полярному колі в момент сходу точки весняного рівнодення.
35. Колюр сонцестоянь (крім дуг від полюсів екліптики до найдближчих до них полюсів світу).
36. Велике коло, що проходить посередині між екватором і екліптикою та утворює з ними кути $78^{\circ}16'30''$.
37. Точки рівнодень.
38. 0° при $\delta < \varphi$ та 180° при $\delta > \varphi$.
39. При $\delta < \varphi$ та при $\delta > \varphi$.
40. 47° .
41. Висоти відрізняються на 30° ; азимути або однакові або відрізняються на 180° , якщо $-(\varphi + 30^{\circ}) < \delta < -\varphi$.
42. $17^{\circ}3'$.
43. $14^{\circ}3'$; $4^{\circ}34'$.
44. Завжди.
45. Ніде не може.
46. $51^{\circ}2'$.
47. Ні, так, так, ні.
48. Ні.
49. 35° .
50. $35^{\circ}25'$.
51. $-16^{\circ}36'$.
52. $\delta = 90^{\circ} - \varphi$.
53. $\delta = \varphi$.
54. $\delta = \varphi$.
55. До $-30^{\circ}3'$ та до $48^{\circ}40'$.
56. $41^{\circ}43'$.
57. $44^{\circ}6'$.
58. 60° .
59. $27^{\circ}7'$.
60. $40^{\circ}51'13''$.
61. $40^{\circ}20'$.
62. $72^{\circ}3'$.
63. $\delta = 35^{\circ}$, $\varphi = 75^{\circ}$ або $\delta = 75^{\circ}$, $\varphi = 35^{\circ}$.
64. $54^{\circ}12'$.
65. $4'$.
66. 0° і 90° ; $+23^{\circ}26'$ і $66^{\circ}34'$; $+66^{\circ}34'$ і $+23^{\circ}26'$; $+90^{\circ}$ і 0° .
67. $4^{\circ}35'$ пд. і $+85^{\circ}25'$ пд.; $16^{\circ}38'$ пн. і $+73^{\circ}22'$ пн.

68. $11^{\circ}2' \text{ N}, +78^{\circ}58' \text{ N}, 180^{\circ} \text{ i } 0^{\circ}; 71^{\circ}31' \text{ S}, +18^{\circ}29' \text{ S}, 0^{\circ} \text{ i } 0^{\circ};$
 $12^{\circ}45' \text{ S}, +77^{\circ}15' \text{ S}, 0^{\circ} \text{ i } 0^{\circ}; 95^{\circ}18' \text{ S}, -5^{\circ}18' \text{ S}, 0^{\circ} \text{ i } 0^{\circ}.$
69. $89^{\circ}4' \text{ пн. i } +0^{\circ}56' \text{ пн.}$
70. $179^{\circ}4' \text{ пн. i } -89^{\circ}4' \text{ пн.}$
71. $\delta = \varphi = 0^{\circ}; \delta = \varphi = +45^{\circ}; \delta = \varphi = +45^{\circ}.$
- 72.

φ	Верхня кульмінація				Нижня кульмінація			
	$z_{\text{в}}$	$h_{\text{в}}$	A	t	$z_{\text{н}}$	$h_{\text{н}}$	A	t
90°	$62^{\circ}09'$	$+27^{\circ}51'$	—	—	$62^{\circ}09'$	$+27^{\circ}51'$	—	—
$+66^{\circ}33'$	$32^{\circ}42' \text{ пд.}$	$+51^{\circ}18' \text{ пд.}$	0°	0	$85^{\circ}36' \text{ пн.}$	$+4^{\circ}24' \text{ пн.}$	180°	12°
0°	$27^{\circ}51' \text{ пн.}$	$+62^{\circ}09' \text{ пн.}$	180°	0	$152^{\circ}09' \text{ пн.}$	$-62^{\circ}09' \text{ пн.}$	180°	12°

73. $\delta_2 - \delta_1; 2\varphi - (\delta_1 + \delta_2); \delta_2 - \delta_1; \delta_2 - \delta_1.$
74. $18^{\circ}51', 0^{\circ} \text{ i } 0^{\circ}; 11^{\circ}47', 180^{\circ} \text{ i } 0^{\circ}, 0^{\circ} \text{ i } 0^{\circ}; 18^{\circ}51', 180^{\circ} \text{ i } 12^{\circ}.$
75. $180^{\circ} - 2\varphi \text{ i } 180^{\circ} - 2\delta.$
76. $64^{\circ}44'; 97^{\circ}24'.$
77. $147^{\circ}10'; -16^{\circ}25' < \varphi < +16^{\circ}25'.$
78. $\varphi_2 - \varphi_1; \varphi_2 + \varphi_1 - 2\delta; \varphi_2 - \varphi_1; \varphi_2 - \varphi_1.$
79. $14^{\circ}57'; 22^{\circ}1'; 22^{\circ}1'.$
80. $+62^{\circ}1' \text{ i } 27^{\circ}59';$ в точці півдня неможлива; $+27^{\circ}59' \text{ i } 62^{\circ}1';$ південний полюс $+29^{\circ}54' \text{ i } 60^{\circ}06'; +60^{\circ}06' \text{ i } 29^{\circ}54';$ в точці півночі неможлива.
81. Цілодобово; заходить.
82. Цілодобово; заходить.
83. $+61^{\circ}47'$ не заходять; $-61^{\circ}47'$ не сходять; $+41^{\circ}42' \text{ i } -41^{\circ}42'$ сходять і заходять, в Канбері $-35^{\circ}20' \text{ i } +35^{\circ}20'$ сходять і заходять.
84. $+51^{\circ}16' \text{ i } -70^{\circ}20'.$
85. $29^{\circ}22' \text{ i } +37^{\circ}20'.$ Толіман видно, Канопус – ні. В Тернополі не видно жодної зорі.
86. $-49^{\circ}14' \text{ i } +63^{\circ}41'.$
87. $\leq -40^{\circ}34', +27^{\circ}59' > \varphi > -27^{\circ}59', \geq +40^{\circ}34'; \geq +33^{\circ}10', +27^{\circ}11' > \varphi > -27^{\circ}11', \leq -33^{\circ}10'.$
88. В момент сходу і заходу Сонця; на широтах $\varphi > +23^{\circ}26' \text{ i } \varphi < -23^{\circ}26'$ в момент верхньої кульмінації.
89. Приблизно за 12 годин.
90. $90^{\circ} \text{ i } 0^{\circ}; 270^{\circ} \text{ i } 0^{\circ}.$
91. $180^{\circ}, 188^{\circ}, 280^{\circ}.$
92. $0^{\circ} \text{ i } 0^{\circ}; 12^{\circ} \text{ i } 0^{\circ}.$
93. $6^{\circ} \text{ i } +23^{\circ}26'; 12^{\circ} \text{ i } -23^{\circ}26'.$

94. 90° і 0° ; 180° і 0° .
 95. $57^\circ 41'$.
 96. $2^\circ 1'$.
 97. $53^\circ 29'$, $72^\circ 6'$, 90° , $46^\circ 52'$; $6^\circ 37'$, $25^\circ 14'$, $43^\circ 8'$, 0° .
 98. $66^\circ 34'$.
 99. На $1^\circ 59'$.
 100. $23^\circ 26'$.
 101. $43^\circ 48'$, $22^\circ 46'$.
 102. $36^\circ 10'$.
 103. 3 травня або 11 серпня.
 104. $34^\circ 47'$, $23^\circ 54'$.
 105. $23^\circ 27'$.
 106. $23^\circ 51'$.
 107. $-0''$, 48; зміна нахилу земної осі.

108.

Широта	Літнє сонцестояння		Рівнодення		Зимове сонцестояння	
	полудень	північ	полудень	північ	полудень	північ
$+61^\circ 47'$	z h	$38^\circ 21'$ $+51^\circ 39'$	$94^\circ 47'$ $-4^\circ 47'$	$61^\circ 47'$ $+28^\circ 13'$	$118^\circ 13'$ $-28^\circ 13'$	$85^\circ 13'$ $+4^\circ 47'$
$+49^\circ 34'$	z h	$26^\circ 8'$ $63^\circ 52'$	107° -17°	$49^\circ 34'$ $+40^\circ 26'$	$130^\circ 26'$ $-40^\circ 26'$	73° 17°
						$153^\circ 52'$ $-63^\circ 52'$

109. В день зимового сонцестояння $h_n = -h_v$ дня літнього сонцестояння. Поблизу літнього сонцестояння на широті $+61^\circ 47'$ білі ночі, в Тернополі – світлі ночі.
 110. $61^\circ 47'$: 9,44:5,69:1; $55^\circ 45'$: 4,51:3,00:1; $37^\circ 45'$: 2,01:1,64:1. $37^\circ 45'$: $55^\circ 45'$: $61^\circ 47'$: 1,24:1,08:1; 1,67:1,19,1; 5,81:2,25:1.
 111.

Пункт	Літнє сонцестояння		Рівнодення		Зимове сонцестояння	
	h_v	h_n	h_v	h_n	h_v	h_n
Північний полюс	$+23^\circ 26'$	$+23^\circ 26'$	$+0^\circ 35'$	$+0^\circ 35'$	$-23^\circ 26'$	$-23^\circ 26'$
Північне полярне коло	$+46^\circ 54'$	$0^\circ 35'$	$+23^\circ 26'$	$-23^\circ 26'$	$+0^\circ 35'$	$-46^\circ 54'$
Північний тропік	$+90^\circ$	$-43^\circ 06'$	$+66^\circ 34'$	$-66^\circ 34'$	$+43^\circ 06'$	-0°

112. Екватор: 2,30 2,51 1,34; 1,72:1,87:1
 Тропік: 2,51 2,30 1; 2,51:2,30:1
 Полярне коло: 1,83 1 – 1,83:1: –
 Полюс: 1 – – 1 – –

113. $\leq -69^{\circ},6$; $+21^{\circ}19'$; $\geq +67^{\circ},8$; $\geq +74^{\circ},2$; $-16^{\circ}43'$; $\leq -72^{\circ},4$.
114. В зеніті: 21.03 і 23.09; 21.06 (пн.) і 22.12 (пд.); 9.04 і 2.09; 27.01 і 15.11.
В надирі: 21.03 і 23.09; 22.12 (пн.) і 21.06 (пд.); 1.03 і 13.10; 14.05 і 30.07.
115. $+12^{\circ}46'$; $+77^{\circ}14'$ пд. і $-77^{\circ}14'$ пн.; $+79^{\circ}19'$ пн. і $-53^{\circ}47'$ пн.; $+53^{\circ}47'$ пд. і $-79^{\circ}19'$ пд.
116. $+34^{\circ}08'$; $+55^{\circ}52'$ пд. і $-55^{\circ}52'$ пн.; $+79^{\circ}19'$ пд. і $-32^{\circ}25'$ пн.; $+32^{\circ}25'$ пд. і $-79^{\circ}19'$ пн.
117. $\pm 24^{\circ}48'$ і $\pm 65^{\circ}12'$; $\pm 3^{\circ}07'$ і $\pm 86^{\circ}53'$; $\pm 82^{\circ}$ і $\pm 8^{\circ}$.
118. Марс: подібно до земних, від $+24^{\circ}48'$ до $24^{\circ}48'$;
Юпітер: подібно до земних, від $+3^{\circ}07'$ до $-3^{\circ}07'$;
Уран: протилежно земним, від $+82^{\circ}$ до -82° .
119. Екватор: 7,19:1; полярне коло: 3,58:1; тропік: 1:7,19.
Полярні дні і ночі в зоні $+8^{\circ} \leq \varphi \leq +90^{\circ}$; в зеніті $0^{\circ} \leq \varphi \leq 82^{\circ}$ (те ж і в південній півкулі). В районі полюсів до 42 земних років.
120. $+23^{\circ},0$ і $+18^{\circ},4$; неможливі.
121. З 9.06 по 3.07; з 13.05 по 31.07.
122. $68^{\circ}59'$: приблизно в період з 28.04 до 20.05 і з 24.07 до 15.08; з 21.05 до 23.07; з 2.12 до 11.01; $+44^{\circ}28'$ пд. і $+2^{\circ}26'$ пн.
 $71^{\circ}58'$: з 18.04 до 8.05 і з 5.08 до 24.08; з 9.05 до 4.08; з 17.11 до 26.01; $+41^{\circ}29'$ пд. і $+5^{\circ}25'$ пн.
123. Рівнодення: $\pm 89^{\circ},0$, не буває; $\pm 83^{\circ},0$ і $\pm 72^{\circ},0$; літнє сонцестояння: $+65^{\circ},6$; $-67^{\circ},5$; $+59^{\circ},4$ і $+48^{\circ},5$; зимове сонцестояння: $-65^{\circ},6$; $+67^{\circ},5$; $-59^{\circ},4$ і $-48^{\circ},5$.
124. 16.04 і 27.08, $+73^{\circ}$, $+79^{\circ}$ і -81° ;
26.05 і 18.07, $+62^{\circ}$, $+68^{\circ}$, -70° .
125. $2^{\circ}39^{\text{XB}}$.
126. $6^{\circ}44^{\text{XB}}$.
127. $3^{\circ}24^{\text{XB}}$.
128. $14^{\circ}36^{\text{XB}}38^{\text{C}}$.
129. В $22^{\circ}33^{\text{XB}}48^{\text{C}}$.
130. $8^{\circ}48^{\text{XB}}$.
131. Через $5^{\circ}2^{\text{XB}}$, через $18^{\circ}58^{\text{XB}}$ за зоряним годинником.
132. Приблизно в $19^{\circ}20^{\text{XB}}$.
133. В $16^{\circ}52^{\text{XB}}$.
134. $17^{\circ}30^{\text{XB}}$.

135. Біля 20^г.
136. На початку року.
137. Приблизно 22 серпня.
138. В північ.
139. Приблизно 22 грудня, 5^г30^{хв}.
140. 22^г54^{хв}53^с і 10^г54^{хв}53^с.
141. $\Delta S = 8^{\text{г}}42^{\text{хв}}43^{\text{с}}$, $\Delta T = 8^{\text{г}}41^{\text{хв}}17^{\text{с}}$; $\Delta S_1 = 24^{\text{г}}$, $\Delta T_1 = 23^{\text{г}}56^{\text{хв}}4^{\text{с}}$;
 $\Delta S_2 = 15^{\text{г}}17^{\text{хв}}17^{\text{с}}$, $\Delta T_2 = 15^{\text{г}}14^{\text{хв}}47^{\text{с}}$.
142. 11^г1^{хв}22^с і 14^г16^{хв}50^с.
143. 17^г22^{хв}38^с, 5^г22^{хв}38^с, 18^г35^{хв}58^с і 11^г39^{хв}48^с.
144. 1^г54^{хв}25^с і 6^г54^{хв}37^с.
145. Сонячна доба була б коротша зоряної.
146. 23^г56^{хв}4^с і 11^г58^{хв}2^с.
147. 1^{хв}43^с,5.
148. 23^г56^{хв}4,°09.
149. 15^г9^{хв}21,°4.
150. 5^г31^{хв}25,°68.
151. 10^г13^{хв}45,°48, 21^г25^{хв}34,°7.
152. 2^г23^{хв}48,°48.
153. 1461.
154. 5^г28^{хв}, 2^г11^{хв}18,°24, 22^г5^{хв}52^с.
155. 14^г32^{хв} і 19^г34^{хв}.
156. 3^г1^{хв}38^с.
157. 21^г20^{хв}.
158. 13^г10^{хв}.
159. 32°20' = 2^г9^{хв}20^с.
160. 2^г26^{хв}7^с на схід від Гринвіча.
161. – 2^г42^{хв}50^с.
162. 3^г11^{хв} на схід від Гринвіча.
163. 8^г45^{хв} на схід від Гринвіча.
164. 6°26'.
165. 0^г22^{хв}.
166. 2^г14^{хв} на схід від Львова.
167. 9^г18^{хв} на схід від Гринвіча.
168. 1^г22^{хв} на схід від Гринвіча.
169. 5^г7^{хв}37^с і 8^г34^{хв}6^с.
170. 12^г29^{хв}18^с і 15^г55^{хв}47^с.
171. 5^г15^{хв}36^с = 78°54', – 11^г27^{хв}51^с = 12^г32^{хв}9^с = 188°2',2.
172. 4^г26^{хв}8^с, 0^г і – 0^г53^{хв}44^с; 16^г26^{хв}08^с, 12^г і 11^г6^{хв}16^с.

173. $15^{\circ}19^{\text{XB}}$ і $23^{\circ}49^{\text{XB}4^{\text{C}}}$.
174. $6^{\circ}36^{\text{XB}38^{\text{C}}}$ і $8^{\circ}12^{\text{XB}34^{\text{C}}}$.
175. $17^{\circ}53^{\text{XB}1^{\text{C}}}$ і $4^{\circ}31^{\text{XB}6^{\text{C}}}$; $27^{\text{XB}10^{\text{C}}}$ і $11^{\circ}5^{\text{XB}15^{\text{C}}}$.
176. $2^{\circ}53^{\text{XB}12^{\text{C}}}$ і $14^{\circ}53^{\text{XB}12^{\text{C}}}$; $5^{\circ}20^{\text{XB}}$ і $17^{\circ}20^{\text{XB}}$.
177. $1^{\circ}46^{\text{XB}18^{\text{C}}} = 26^{\circ}34',5$, $10^{\circ}34^{\text{XB}22^{\text{C}}} = 158^{\circ}35',5$.
178. $21^{\circ}38^{\text{XB}37^{\text{C}}}$, $9^{\circ}38^{\text{XB}37^{\text{C}}}$, $2^{\circ}3^{\text{XB}53^{\text{C}}}$.
179. $14^{\circ}40^{\text{XB}24^{\text{C}}}$ і $2^{\circ}40^{\text{XB}}$.
180. 8 лютого: $9^{\circ}14^{\text{XB}}$, $9^{\circ}47^{\text{XB}}$, $8^{\circ}47^{\text{XB}}$; 1 вересня: $22^{\circ}32^{\text{XB}}$, $23^{\circ}5^{\text{XB}}$, $22^{\circ}5^{\text{XB}}$.
181. Сиріус: 1 або 2 січня і 1 або 2 липня; Антарес: приблизно 26 травня і 27 листопада.
182. $14^{\circ}41^{\text{XB}9^{\text{C}}}$, $17^{\circ}5^{\text{XB}33^{\text{C}}}$.
183. $19^{\circ}36^{\text{XB}52^{\text{C}}}$, $20^{\circ}7^{\text{XB}14^{\text{C}}}$ і $19^{\circ}7^{\text{XB}4^{\text{C}}}$; $7^{\circ}34^{\text{XB}54^{\text{C}}}$, $8^{\circ}5^{\text{XB}16^{\text{C}}}$, $7^{\circ}5^{\text{XB}6^{\text{C}}}$.
184. $9^{\circ}4^{\text{XB}29^{\text{C}}}$, $9^{\circ}15^{\text{XB}57^{\text{C}}}$ і $8^{\circ}15^{\text{XB}47^{\text{C}}}$; $21^{\circ}2^{\text{XB}31^{\text{C}}}$, $21^{\circ}13^{\text{XB}59^{\text{C}}}$, $20^{\circ}13^{\text{XB}49^{\text{C}}}$; $9^{\circ}3^{\text{XB}56^{\text{C}}}$, $8^{\circ}37^{\text{XB}2^{\text{C}}}$ і $7^{\circ}36^{\text{XB}52^{\text{C}}}$; $21^{\circ}1^{\text{XB}58^{\text{C}}}$, $20^{\circ}35^{\text{XB}4^{\text{C}}}$, $19^{\circ}34^{\text{XB}54^{\text{C}}}$.
185. $16^{\circ}40^{\text{XB}14^{\text{C}}}$ і $4^{\circ}41^{\text{XB}44^{\text{C}}}$.
186. α Андромеди: $15^{\circ}59^{\text{XB}57^{\text{C}}}$ і $8^{\text{XB}59^{\text{C}}}$; $4^{\circ}19^{\text{XB}14^{\text{C}}}$ і β Лева: $12^{\circ}28^{\text{XB}16^{\text{C}}}$.
187. Бетельгейзе: $12^{\circ}42^{\text{XB}45^{\text{C}}}$ і $21^{\circ}35^{\text{XB}}$; Спіка: $5^{\circ}12^{\text{XB}40^{\text{C}}}$ і $14^{\circ}4^{\text{XB}55^{\text{C}}}$.
188. Поллукс: $22^{\circ}20^{\text{XB}48^{\text{C}}}$ і $16^{\circ}34^{\text{XB}48^{\text{C}}}$; Арктур: $16^{\circ}52^{\text{XB}49^{\text{C}}}$ і $11^{\circ}6^{\text{XB}49^{\text{C}}}$.
189. Капелла: 22 березня $5^{\circ}13^{\text{XB}}$, $17^{\circ}15^{\text{XB}10^{\text{C}}}$, $17^{\circ}5^{\text{XB}10^{\text{C}}}$ і $18^{\circ}5^{\text{XB}10^{\text{C}}}$; $17^{\circ}13^{\text{XB}}$, $5^{\circ}17^{\text{XB}8^{\text{C}}}$, $5^{\circ}7^{\text{XB}8^{\text{C}}}$ і $6^{\circ}7^{\text{XB}8^{\text{C}}}$; 22 червня $5^{\circ}13^{\text{XB}}$, $11^{\circ}13^{\text{XB}27^{\text{C}}}$, $11^{\circ}3^{\text{XB}27^{\text{C}}}$ і $12^{\circ}3^{\text{XB}27^{\text{C}}}$; $17^{\circ}13^{\text{XB}}$, $23^{\circ}15^{\text{XB}25^{\text{C}}}$ і $23^{\circ}5^{\text{XB}25^{\text{C}}}$ (перед початком даної дати) або $23^{\circ}11^{\text{XB}29^{\text{C}}}$ і $23^{\circ}1^{\text{XB}29^{\text{C}}}$ (в дану дату) і $5^{\text{XB}25^{\text{C}}}$; Вега: 22 березня $18^{\circ}35^{\text{XB}15^{\text{C}}}$, $6^{\circ}39^{\text{XB}10^{\text{C}}}$, $6^{\circ}29^{\text{XB}10^{\text{C}}}$ і $7^{\circ}29^{\text{XB}10^{\text{C}}}$; $6^{\circ}35^{\text{XB}15^{\text{C}}}$, $18^{\circ}37^{\text{XB}12^{\text{C}}}$, $18^{\circ}27^{\text{XB}12^{\text{C}}}$ і $19^{\circ}27^{\text{XB}12^{\text{C}}}$; 22 червня $18^{\circ}35^{\text{XB}15^{\text{C}}}$, $33^{\text{XB}30^{\text{C}}}$, $23^{\text{XB}30^{\text{C}}}$ і $1^{\circ}23^{\text{XB}30^{\text{C}}}$; $6^{\circ}35^{\text{XB}15^{\text{C}}}$, $12^{\circ}31^{\text{XB}32^{\text{C}}}$, $12^{\circ}21^{\text{XB}32^{\text{C}}}$ і $13^{\circ}21^{\text{XB}32^{\text{C}}}$.
190. Сиріус: $1^{\circ}46^{\text{XB}18^{\text{C}}}$ і $13^{\circ}11^{\text{XB}22^{\text{C}}}$; Альтаїр: $14^{\circ}49^{\text{XB}33^{\text{C}}}$ і $2^{\circ}18^{\text{XB}33^{\text{C}}}$.
191. $4^{\circ}52^{\text{XB}31^{\text{C}}}$ і $13^{\circ}37^{\text{XB}24^{\text{C}}}$; $5^{\circ}19^{\text{XB}37^{\text{C}}}$ і $14^{\circ}4^{\text{XB}30^{\text{C}}}$.
192. $6^{\circ}57^{\text{XB}48^{\text{C}}} = 104^{\circ}27'$, $11^{\circ}17^{\text{XB}36^{\text{C}}} = 169^{\circ}24'$.
193. $1^{\text{XB}17^{\text{C}}}$.
194. $\lambda = 2^{\circ}57^{\text{XB}}$ на захід від Гринвіча, $\varphi = 40^{\circ}27'$.
195. 3 квітня в $0^{\circ}3^{\text{XB}}$, $1^{\circ}3^{\text{XB}}$, $0^{\circ}11^{\text{XB}}$.

196. У III годинному поясі – поясний час: 18 листопада $23^{\circ}38^{\text{XB}}30^{\text{C}}$ і 19 листопада $3^{\circ}8^{\text{XB}},2$; в V – декретний час: 19 листопада $2^{\circ}38^{\text{XB}},5$ і $6^{\circ}8^{\text{XB}},2$; у VII – декретний час: 19 листопада $4^{\circ}38^{\text{XB}},5$ і $8^{\circ}8^{\text{XB}},2$.
197. 21 червня в $21^{\circ}38^{\text{XB}}$; 22 червня в $2^{\circ}38^{\text{XB}}$; 22 червня в $0^{\circ}38^{\text{XB}}$.
198. $17^{\circ}59^{\text{XB}}34^{\text{C}}$.
199. $7^{\circ}10^{\text{XB}}30^{\text{C}}$.
200. $4^{\circ}6^{\text{XB}}$, $11^{\circ}34^{\text{XB}}$.
201. $11^{\circ}35^{\text{XB}}34^{\text{C}}$, $11^{\circ}52^{\text{XB}}6^{\text{C}}$ і $12^{\circ}52^{\text{XB}}6^{\text{C}}$; $16^{\circ}10^{\text{XB}}43^{\text{C}}$, $16^{\circ}52^{\text{XB}}6^{\text{C}}$, $17^{\circ}52^{\text{XB}}6^{\text{C}}$.
202. $16^{\circ}17^{\text{XB}}4^{\text{C}}$, $16^{\circ}4^{\text{XB}}8^{\text{C}}$ і $17^{\circ}4^{\text{XB}}8^{\text{C}}$; $18^{\circ}55^{\text{XB}}30^{\text{C}}$, $19^{\circ}4^{\text{XB}}8^{\text{C}}$, $20^{\circ}4^{\text{XB}}8^{\text{C}}$.
203. $-18^{\text{XB}}58^{\text{C}}$ і $+41^{\text{XB}}2^{\text{C}}$.
204. I: $T_{\text{д}}$, T_{λ} і $T_{\text{п}}$, II: $T_{\text{д}}$, $T_{\text{п}}$ і T_{λ} .
205. I: $12^{\circ}12^{\text{XB}}$, $12^{\circ}33^{\text{XB}}$ і $13^{\circ}33^{\text{XB}}$; $0^{\circ}12^{\text{XB}}$, $0^{\circ}33^{\text{XB}}$, $1^{\circ}33^{\text{XB}}$, $11^{\circ}45^{\text{XB}}$, $12^{\circ}6^{\text{XB}}$ і $13^{\circ}6^{\text{XB}}$; $23^{\circ}45^{\text{XB}}$, $0^{\circ}6^{\text{XB}}$, $1^{\circ}6^{\text{XB}}$;
II: $12^{\circ}12^{\text{XB}}$, $12^{\circ}31^{\text{XB}}$ і $13^{\circ}31^{\text{XB}}$; $0^{\circ}12^{\text{XB}}$, $0^{\circ}31^{\text{XB}}$, $1^{\circ}31^{\text{XB}}$; $11^{\circ}45^{\text{XB}}$, $12^{\circ}4^{\text{XB}}$ і $13^{\circ}4^{\text{XB}}$; $23^{\circ}45^{\text{XB}}$, $0^{\circ}4^{\text{XB}}$, $1^{\circ}4^{\text{XB}}$.
206. В Києві: $14^{\circ}34^{\text{XB}}$, $14^{\circ}32^{\text{XB}}$ і $15^{\circ}32^{\text{XB}}$; в пункті: $21^{\circ}32^{\text{XB}}$, $21^{\circ}32^{\text{XB}}$ і $22^{\circ}32^{\text{XB}}$.
207. Пункт вильоту: $9^{\circ}20^{\text{XB}}$, $12^{\circ}45^{\text{XB}}$ і $3^{\circ}25^{\text{XB}}$.
208. Пункт відправки: $13^{\circ}40^{\text{XB}}$, $16^{\circ}20^{\text{XB}}$ і $2^{\circ}40^{\text{XB}}$.
209. В $11^{\circ}44^{\text{XB}}51^{\text{C}}$.
210. $\varphi = 44^{\circ}8'$, $\lambda = 45'$ на захід від Гринвіча.
211. $13^{\circ}4^{\text{XB}}15^{\text{C}},5$.
212. $3^{\circ}23^{\text{XB}}$.
213. Через 6^{XB} після справжнього полудня.
214. -9^{XB} .
215. 32^{XB} .
216. $14^{\circ}48^{\text{XB}}$.
217. $-26^{\text{XB}}35^{\text{C}},07$ і $-26^{\text{XB}}34^{\text{C}},27$.
218. $9^{\circ}16^{\text{XB}}18^{\text{C}},2$.
219. $+6^{\text{XB}}36^{\text{C}}$ і $+5^{\text{XB}}41^{\text{C}}$.
220. $+7^{\text{C}},4$.
221. $-2^{\text{XB}}35^{\text{C}}$, $-2^{\text{XB}}38^{\text{C}},5$ і $-3^{\text{XB}}3^{\text{C}}$.
222. $-18^{\text{XB}}44^{\text{C}}$.
223. $+16^{\text{C}}$, $10^{\circ}57^{\text{XB}}18^{\text{C}}$.
224. $+15^{\text{XB}}$.
225. $+2^{\text{XB}}52^{\text{C}}$ і $16^{\circ}50^{\text{XB}}32^{\text{C}}$.

226. $-19^{\text{XB}}13^{\text{C}}, -18^{\text{XB}}1^{\text{C}}, +1^{\text{XB}}12^{\text{C}}, +3^{\text{C}}.$
227. $5^{\circ}44'11''.$
228. $+7^{\circ}44'28''.$
229. $83^{\circ}3'32''.$
230. $51^{\circ}32'9'' \text{ і } +74^{\circ}34'41''.$
231. За північним або полярним колом влітку, 8-9 км.
232. Ні, оскільки рефракція не змінює азимутів світил.
233. $+74^{\circ}34'43'' \text{ і } 40^{\circ}22'10''.$
234. $5^{\circ}14'55'' \text{ і } -9^{\circ}22'7''.$
235. $+48^{\circ}20' \text{ і } +63^{\circ}26'; +63^{\circ}26' \text{ і } +48^{\circ}20'; +58^{\circ}28' \text{ і } +49^{\circ}8'; -47^{\circ}51' \text{ і } -59^{\circ}46'.$
236. $-8^{\circ}26' \text{ і } +74^{\circ}22'.$
237. $+28^{\circ}19' \text{ і } -66^{\circ}38'.$
238. $+45^{\circ}58'.$
239. $+57^{\circ}19' \text{ і } -29^{\circ}54'.$
240. $-48^{\circ}53' \text{ і } +41^{\circ}42'.$
241. $18^{\text{Г}}53^{\text{XB}}37^{\text{C}} \text{ і } 20^{\text{Г}}18^{\text{XB}}45^{\text{C}}.$
242. $23^{\text{Г}}1^{\text{XB}}21^{\text{C}} \text{ і } 5^{\text{XB}}48^{\text{C}}.$
243. $6^{\text{Г}}8^{\text{XB}}18^{\text{C}} \text{ і } +23^{\circ}57';$ поблизу точки літнього сонцестояння.
244. $1^{\text{Г}}33^{\text{XB}}12^{\text{C}} \text{ і } +8^{\circ}7'.$
245. 1 травня: $2^{\text{Г}}34^{\text{XB}},7 \text{ і } +15^{\circ}10';$ 11 серпня: $9^{\text{Г}}25^{\text{XB}},3 \text{ і } +15^{\circ}10';$ 21 листопада: $15^{\text{Г}}47^{\text{XB}},8 \text{ і } -19^{\circ}59';$ 21 січня: $20^{\text{Г}}12^{\text{XB}},2 \text{ і } -19^{\circ}59'.$
246. $4^{\text{Г}}46^{\text{XB}}47^{\text{C}} \text{ і } +22^{\circ}23'; 4^{\text{Г}}33^{\text{XB}}3^{\text{C}} \text{ і } +16^{\circ}25'.$
247. $14^{\text{Г}}8^{\text{XB}}37^{\text{C}} \text{ і } -13^{\circ}; 14^{\text{Г}}14^{\text{XB}}31^{\text{C}} \text{ і } +19^{\circ}19'.$
248. $+48^{\circ}30'.$
249. $+38^{\circ}35', -8^{\circ}15' \text{ і } +49^{\circ}41'.$
250. $4^{\text{Г}}26^{\text{XB}}30^{\text{C}} = 66^{\circ}37',5.$
251. $-5^{\text{Г}}24^{\text{XB}}36^{\text{C}} = -75^{\circ}9' \text{ і } +43^{\circ}48'.$
252. $5^{\text{Г}}44^{\text{XB}}5^{\text{C}} \text{ і } +69^{\circ}35'.$
253. $4^{\text{Г}}27^{\text{XB}}42^{\text{C}} \text{ і } +41^{\circ}40'.$
254. $-1^{\text{Г}}53^{\text{XB}},8 = -28^{\circ}27' \text{ і } +37^{\circ}38',$ 26-27 червня.
255. $\cos l = \sin \delta_1 \sin \delta_2 + \cos \delta_1 \cos \delta_2 \cos(\alpha_2 - \alpha_1).$
256. $5^{\circ}23'.$
257. Довжина шляху $71^{\circ}18'10'',$ кути $40^{\circ}13'48''$ та $69^{\circ}14'45''.$
258. $\cos \beta \cos \lambda = \cos \delta \cos \alpha,$
 $\cos \beta \sin \lambda = \sin \varepsilon \sin \delta + \cos \varepsilon \cos \delta \sin \alpha,$

- $\sin \beta = \cos \varepsilon \sin \delta - \sin \varepsilon \cos \delta \sin \alpha$, для Сонця
 $\cos \lambda = \cos \delta \cos \alpha$.
259. $\cos \lambda = \cos \delta \cos \alpha$, $\cos \delta \sin \alpha = \sin \lambda \cos \varepsilon$,
 $\sin \delta = \sin \lambda \sin \varepsilon$.
260. $A = 58^\circ$, $z = 17^\circ$.
261. $A = 279^\circ 28'$, $z = 68^\circ 46'$.
262. $A = 343^\circ 42', 9$, $z = 32^\circ 45'$.
263. $14^{\text{г}} 11^{\text{хв}} 35^{\text{с}} \text{ і } +19^\circ 38' 7''$.
264. $A = 140^\circ 11' \text{ і } z = 16^\circ 1'$; $A = -30^\circ 54' \text{ і } z = 77^\circ 58'$.
265. 15 квітня, $A = -85^\circ 42' \text{ і } z = 63^\circ 1'$; $A = -51^\circ 20' \text{ і } z = 87^\circ 9'$;
 20 серпня, $A = +48^\circ 28' \text{ і } z = 50^\circ 7'$; $A = +70^\circ 11' \text{ і } z = 95^\circ 6'$.
266. Уран: $A = -7^\circ 36' \text{ і } z = 52^\circ 56'$, Нептун: $A = -45^\circ 42' \text{ і } z = 76^\circ 26'$.
267. $\lambda = 85^\circ 45'$, $\beta = +45^\circ 7', 8$.
268. $\lambda = 87^\circ 10'$, $\beta = -16^\circ 2'$.
269. $+17^\circ 11', 5$.
270. $4^{\text{г}} 38^{\text{хв}} 5^{\text{с}} \text{ і } +22^\circ 8'$.
271. $2^{\text{г}} 44^{\text{хв}} 24^{\text{с}} \text{ і } +15^\circ 9'$; $9^{\text{г}} 43^{\text{хв}} 36^{\text{с}} \text{ і } +13^\circ 7'$.
272. $281^\circ, 3$, $102^\circ, 7$.
273. $15^\circ 20', 3$, $70^\circ 37', 5$.
274. $4^{\text{г}} 10^{\text{хв}}, 2$.
275. Вважаючи $t = 0$, отримуємо $z = \pm(\varphi - \delta)$.
276. $52^\circ 30'$.
277. $\operatorname{tg} \varphi = \operatorname{tg} \delta \frac{\sin t_1 + \sin t_2}{\sin(t_1 + t_2)}$.
281. $-1^{\text{хв}} 18^{\text{с}}$.
282. $270^\circ \text{ і } 90^\circ$.
283. В точці південного заходу, $225^\circ \text{ і } 45^\circ$.
284. В $20^{\text{г}}$.
285. $270^\circ \text{ і } 90^\circ$, $246^\circ, 5 \text{ і } 66^\circ, 5$, $270^\circ \text{ і } 90^\circ$, $246^\circ, 5 \text{ і } 66^\circ, 5$.
286. $\varphi \geq 72^\circ$.
287. Необхідно врахувати, що зірка лежить практично на екваторі.
288. $A_c = 220^\circ 51' \text{ і } s_c = 21^{\text{г}} 44^{\text{хв}}$; $A_3 = 139^\circ 9' \text{ і } s_3 = 15^{\text{г}} 34^{\text{хв}}, 6$.
289. _____.
290. $23^{\text{г}} 54^{\text{хв}}$.

291. Схід в $0^{\circ}56^{\text{XB}}28^{\text{C}}$, захід в $14^{\circ}12^{\text{XB}}30^{\text{C}}$; за середнім часом: схід в $0^{\circ}11^{\text{XB}}7^{\text{C}}$, захід в $13^{\circ}24^{\text{XB}}59^{\text{C}}$.
292. $t = \pm 7^{\circ}27^{\text{XB}}56^{\text{C}}$, $A = \pm 115^{\circ}2',7$; $14^{\circ}53^{\text{X}}$; схід в $12^{\circ}50^{\text{XB}}28^{\text{C}}$, захід в $3^{\circ}43^{\text{XB}}53^{\text{C}}$.
293. $55^{\circ},1, -18^{\circ},8$.
294. $-32^{\circ},5, 4^{\circ}48^{\text{XB}}, 5^{\circ},8$.
295. На $+68^{\circ}20'$ завжди над горизонтом. На $+37^{\circ}45'$ S = $22^{\circ}41^{\text{XB}},5, 6^{\circ}$ і $13^{\circ}18^{\text{XB}},5$, $\Delta S = 14^{\circ}37^{\text{XB}}$; 22 березня: $T_d = 11^{\circ}45^{\text{XB}}$, $19^{\circ}2^{\text{XB}}$ і $2^{\circ}19^{\text{XB}}$, $\Delta T = 14^{\circ}34^{\text{XB}}$; 22 червня $T_d = 5^{\circ}43^{\text{XB}}$, 13° і $20^{\circ}17^{\text{XB}}$, $\Delta T = 14^{\circ}34^{\text{XB}}$.
296. На $+68^{\circ}59'$ Кастор не заходить, Антарес не сходить. На $+37^{\circ}45'$ Кастор 15 квітня: $226^{\circ}41'$ і $11^{\circ}3^{\text{XB}}$; 0° і $19^{\circ}5^{\text{XB}}$; $133^{\circ}19'$ і $3^{\circ}8^{\text{XB}}$; 180° і $7^{\circ}7^{\text{XB}}$; 15 жовтня: азимуті такі ж; $23^{\circ}4^{\text{XB}}$, $7^{\circ}6^{\text{XB}}$, $15^{\circ}8^{\text{XB}}$ і $19^{\circ}4^{\text{XB}}$. Антарес, 15 квітня: $303^{\circ}34'$ і $23^{\circ}30^{\text{XB}}$; 0° і $4^{\circ}3^{\text{XB}}$; $56^{\circ}26'$ і $8^{\circ}36^{\text{XB}}$; 180° і $16^{\circ}1'$; 15 жовтня: азимуті ті ж; $11^{\circ}27^{\text{XB}}$, $15^{\circ}59^{\text{XB}}$, $20^{\circ}32^{\text{XB}}$ і $3^{\circ}57^{\text{XB}}$.
297. На $+59^{\circ}57'$, рівнодення: $268^{\circ}32'$ і $6^{\circ}25^{\text{XB}}$; 0° і $12^{\circ}31^{\text{XB}}$; $91^{\circ}28'$ і $18^{\circ}38^{\text{XB}}$; $+30^{\circ}3'$ і $-30^{\circ}3'$; $12^{\circ}14^{\text{XB}}$. Літнє сонцестояння: $254^{\circ}52'$ і 3° ; 0° і $12^{\circ}25^{\text{XB}}$; $145^{\circ}8'$ і $21^{\circ}51^{\text{XB}}$; $+53^{\circ}30'$ і $-6^{\circ}36'$ (біла ніч); $18^{\circ}52^{\text{XB}}$. Зимове сонцестояння: $320^{\circ}17'$ і $9^{\circ}25^{\text{XB}}$; 0° і $12^{\circ}22^{\text{XB}}$; $39^{\circ}43'$ і $15^{\circ}18^{\text{XB}}$; $+6^{\circ}36'$ і $-53^{\circ}30'$; $5^{\circ}53^{\text{XB}}$. На $+69^{\circ}18'$ в день рівнодення: $267^{\circ}45'$ і $7^{\circ}4^{\text{XB}}$; 0° і $13^{\circ}14^{\text{XB}}$; $92^{\circ}15'$ і $19^{\circ}23^{\text{XB}}$; $+20^{\circ}42'$ і $-20^{\circ}42'$; $12^{\circ}19^{\text{XB}}$. 21 червня $\delta > (90^{\circ} - \varphi)$, не заходить; $+44^{\circ}9'$ і $+2^{\circ}45'$, а з врахуванням середньої рефракції $+3^{\circ}00'$ (полярний день); 22 грудня $\delta < -(90^{\circ} - \varphi)$, не сходить; $-2^{\circ}45'$ (сутінки) і $-44^{\circ}9'$ (полярна ніч).
298. Сиріус в $8^{\circ}43^{\text{XB}}$; Регул в $17^{\circ}27^{\text{XB}}$; Капелла в $19^{\circ}1^{\text{XB}}$.
299. $17^{\circ}7^{\text{XB}},8$ і $-8^{\circ}11'$; $16^{\circ}33^{\text{XB}},1$ і $+11^{\circ}10'$.
300. $-64^{\circ}48'$.
301. $15^{\circ}24^{\text{XB}}$, $4^{\circ}14^{\text{XB}},7$, $19^{\circ}38^{\text{XB}},5$.
302. Найкоротша ніч на широті $59^{\circ}57' - 5^{\circ}31^{\text{XB}}$, на широті $38^{\circ}35' - 9^{\circ}18^{\text{XB}}$.
303. $52^{\circ}30',2$.
304. Через $1^{\circ}12^{\text{XB}}$, $1^{\circ}44^{\text{XB}}$, $2^{\circ}33^{\text{XB}}$.
305. $2^{\circ}30^{\text{XB}}$.
306. $77^{\circ},7$.
309. Близько 6600 років.
310. 12,5 хвилин.

311. Близько 255 діб.
312. Ні, так, ні.
313. Ні.
314. Верхня.
315. 10 а.о. і 190 а.о.
316. 222 млн.км. і 102 млн.км.
317. 9,02 а.о. і 10,06 а.о.; 29,83 а.о. і 30,31 а.о.
318. 29,83 а.о. і 29,52 а.о.
319. $\nu = \arccos(-e)$.
320. 0,093 а.о. і 1,38 а.о.; 0,777 а.о. і 0,44 а.о. Адоніс –
ближче.
321. 1,081 а.о. і 1,975 а.о.; 3,930 а.о. і 4,641 а.о.
322. 0,017; перигелій і афелій.
323. 0,158, 2,056 а.о. і 2,828 а.о.; 0,132, 2,716 а.о. і 3,542 а.о.
324. 1,467 а.о. і 0,533 а.о.; 2,666 а.о. і 0,382 а.о.
325. Від 23'12" до 19'16".
326. 0,017, 0,983 а.о. і 1,017 а.о.; 1,07; 1,09, 1,67 і 7,04.
327. 225 діб і 5,458 р.
328. 1,81 р. і 919 р.
329. 1000 років.
330. 4,62 років.
331. 4 а.о.
332. В 2,362 рази.
333. 0,153.
334. $11^{\circ}57'^{XB}$.
335. $3^{\circ}55'$ і $7^{\circ}15'$.
336. 185,3 тис. км. і 526,7 тис. км.
337. 6,80 км/с і 4,74 км/с.
338. 28,7 км/с, 17,9 км/с і 13,0 км/с.
339. $\nu = \arccos(-e)$.
340. $0^{\circ},461$.
341. 74 р., 0,009 а.о.
342. 1,7 а.о.
343. 0,63 а.о.
344. 0,763 а.о. і 1588 а.о.
345. Ні.
346. 688 діб.
347. 0,75 р. або 1,5 р.
348. $4/3$ р. або $4/5$ р.

349. 2 роки.
350. 18 серпня наступного року.
351. 1320 діб.
352. 12 вересня наступного року.
353. 2,734 а.о. і 3,102 а.о.
354. $88^{\text{д}}$; 0,387 а.о.; 0,206; 0,467 а.о.; 1,467 а.о.; 0,533 а.о.;
47,9 км/с; 2,31; 29,53 р.; 9,554 а.о.; 0,055; 10,079 а.о.;
11,079 а.о.; 8,024 а.о.; 9,63 км/с; 1,25.
356. $4^{\circ}5'30''$.
357. 780 діб.
358. 41° .
359. 17'.
360. 11° .
361. 0,^д332.
362. 0,73 а.о.
363. 0,39 а.о.
364. 5. а.о.
365. 3 квітня попереднього року і 12 червня через два роки.
366. 6 грудня цього ж року і 2 лютого наступного року.
367. Приблизно через 230 діб, 18 серпня.
368. 31 січня того ж року і 7 березня наступного року.
369. 21 листопада.
370. 9 вересня.
371. 29 січня наступного року.
372. 1 травня того ж року Марс перебуває в сузір'ї
Скорпіона, через 2 роки 1 травня – в сузір'ї Стрільця.
373. В сузір'ї Стрільця.
374. 341° і 16° .
375. 266° і 112° .
376. 8 жовтня і 22 квітня того ж року.
377. 20 червня наступного року.
378. Через два роки 5 квітня.
379. 19 травня того ж року.
380. Приблизно через чотири роки 2 грудня.
381. 0° ; 62° ; 0° ; 180° ; 0° .
382. 270° ; 270° ; 225° ; 270° ; 349° .
383. 7 років.
384. Марс: 15 р. і 17 р.; 56,7 млн. км. і 398 млн. км. Ерот: 37
р. і 44 р.; 20,3 млн. км. і 416 млн. км.

385. $8^{\text{XB}}18^{\text{C}}$.
386. 2,"38.
387. 23,"2.
388. 46,"4.
389. 0,"29.
390. 1,"47.
391. 6371 км і 1/300.
392. 41,4 млн. км, 149,6 млн. км і 8,794.
393. 149,6 млн. км і 8",794.
394. 57'2", 61'31" і 53'55".
395. 33'31" і 29'22".
396. 381860 км і 0,0634; 382140 км і 0,0641.
397. 79,8 млн. км і 0,206.
398. 22,58 млн. км = 0,151 а.о., 1,458 а.о. і 0,222.
399. 0",48, 0",51 і 0",46; 0",302, 0",305 і 0",300.
400. Від 8",943 до 8",65.
401. 1736 км.
402. 71400 км, 69900 км, 67000 км і 1/16; 60000 км, 58000 км, 54200 км і 1/10.
403. 71800 км.
404. 12600 км.
405. 60,3; 0,272; 0,074; 0,0201.
406. З точністю до 0,11% або 164445 км.
407. 109; 1391000 км.
408. 15'45".
409. 30500 км, біля 5 млн. км.
410. 109,1 або 696000 км, 570 км і 17200 км.
411. 421800 км, 670900 км, 1070000 км і 1882103 км.
412. 9400 км і 23500 км.
413. $0",549 \text{ c}^{-1} = 2,66 \cdot 10^{-6} \text{ рад/с}$; 4,62 м/с, 4 м/с і 2,31 м/с.
414. $0",61 \text{ c}^{-1} = 36",6 \text{ c}^{-1}$ і 12,7 км/с; $0",605 \text{ c}^{-1} = 36",3 \text{ c}^{-1}$, 10,6 км/с і 6,13 км/с.
415. $24^{\text{r}}37^{\text{XB}}24^{\text{C}}$; 241 м/с, 226 м/с і 155 м/с.
416. 60° ; $75^{\circ},5$ і $82^{\circ},8$.
417. $176^{\text{д}}$ і $29^{\text{д}},53$.
418. $23^{\text{r}}52^{\text{XB}},2$; $25^{\text{д}},42$; $35^{\text{д}},2$.
419. $117^{\text{д}}$ і 8,24 р.
420. 35,02 і 49,52; 29,78 і 42,11; 13,06 і 18,47; 4,74 і 6,7 (км/с).

421. 15,2 і 11,3; 13,4 і 12,8 (км/с); 2,27 а.о.
422. 47,9, 59 і 38,9; 24,1, 26,5 і 21,9 (км/с).
423. Лідія: 18, 19,5 і 16,7 (км/с); 18 і 25,4; 18,8 і 26,6; 17,4 і 24,6 (км/с). Адоніс: 21,2, 60 і 7,5 (км/с); 21,2 і 30; 45,1 і 63,8; 15,9 і 22,5 (км/с).
424. 0,327 а.о. і 0,44 а.о.
425. 26,48 км/с; 25,33 і 35,82 (км/с).
426. 30,55 км/с; 27,75 і 39,24 (км/с),
427. 0,42 а.о.
428. $v_q = 160$ км/с $> v_n = 159$ км/с, по гіперболі; $v_q = 36,5$ км/с $< v_n = 37,9$ км/с, по еліпсу, $T = 26,7$ р.
429. 4,356 р.; 2,667 а.о.; 0,115; 2,360 а.о.; 2,974 а.о.; 18,24 км/с і 16,24 км/с.
430. 3,19 а.о.; 5,7 р.; 1,21 р.; 18,29; 18,1; 16,83 і 16,01 (км/с).
431. 1.
432. В перигелії лінійна швидкість втричі, а кутова швидкість вдсятеро більші, ніж в афелії.
433. В перигелії лінійна швидкість вдвічі, а кутова швидкість вчетверо більші, ніж в афелії.
434. 0,6.
435. 17,1.
436. 14,7.
437. 0,1.
438. 1/3050000.
439. 317 мас Землі.
440. 1/1047.
441. $1,9 \cdot 10^{30}$ кг.
442. 0,107.
443. 14,7.
444. 333000.
445. $22^{\circ},6$ і $14,3$ км/с; $550^{\text{д}}$ і $1,71$ км/с.
446. 14,6 і 14; 14,4 і 20,4; 14,2 і 20; 2,02 і 1,45; 1,87 і 2,64; 1,58 і 2,23 (км/с).
447. 421700 км і 17,3 км/с; 1883000 км і 8,18 км/с.
448. У 8 разів більша сучасної.
449. В 186,6 разів більша сучасної.
450. При будь-якому зменшенні, що перевищує половину маси центрального тіла.
451. $k^3:n^2$ і k .

452. В 8 разів більша; $243^{\text{д}}$ і $10,42$ р.
453. $38^{\text{д}},63$.
455. $64^{\text{д}},6$.
456. $4^{\text{д}},8$.
457. 44 р.
458. $420,9$ км/с.
459. Ні.
460. Ні.
461. Перетворилася б у витягнутий еліпс з афелієм поблизу тієї точки, де знаходилась Земля в момент збільшення маси Сонця.
462. $47^{\circ},8$.
463. 606 км/с.
464. $7,91$ км/с.
465. $2,4$ км/с.
466. 617 км/с.
467. $435,8$ км/с.
468. В 4 рази більша, ніж до Місяця.
469. 17000 км.
470. $4,8$ км/с.
471. $7,91$ і $11,2$; $5,59$ і $7,91$; $2,64$ і $3,73$; $1,02$ і $1,44$ (км/с).
472. $1,02$; $1,08$ і $0,97$ (км/с).
473. 437 і 618 ; 218 і 309 ; 146 і 206 (км/с).
474. $1,68$ і $2,38$; $7,32$ і $10,4$; $3,54$ і 5 (км/с).
475. $6,46$ км/с і $2^{\text{Г}}35^{\text{XB}},5$; $4,57$ км/с і $7^{\text{Г}}18^{\text{XB}}$.
476. $2,89$ км/с і $3^{\text{Г}}5^{\text{XB}}$; $2,04$ км/с і $8^{\text{Г}}43^{\text{XB}}$; $34,9$ км/с і $5^{\text{Г}}13^{\text{XB}}$; $24,7$ км/с і $14^{\text{Г}}45^{\text{XB}}$.
477. $m\sqrt{\frac{m}{n}}$ і m ; $\sqrt{\frac{n}{m}}$ і 1 .
478. 280 км і $7,74$ км/с; 2980 км і $6,53$ км/с; 4190 км і $6,14$ км/с.
479. 35790 км і $3,07$ км/с.
480. 17000 км і $1,45$ км/с; 89600 км і $28,2$ км/с.
481. Земні: $7,79$ км/с і $1^{\text{Г}}28^{\text{XB}},3$; $7,35$ км/с і $1^{\text{Г}}45^{\text{XB}}$. Місячні: $1,59$ км/с і $2^{\text{Г}}7^{\text{XB}}$; $1,34$ км/с і $3^{\text{Г}}34^{\text{XB}}$. Марсіанські: $3,44$ км/с і $1^{\text{Г}}50^{\text{XB}}$; $3,11$ км/с і $2^{\text{Г}}28^{\text{XB}}$. Юпітеріанські: $42,1$ км/с і $2^{\text{Г}}58^{\text{XB}}$; $41,8$ км/с і $3^{\text{Г}}1^{\text{XB}}$.
482. $30^{\circ},53$ і 229° на захід; неможливо і $1^{\circ},2$ на захід; $0^{\circ},1$ і $4^{\circ},3$ на схід.

483. По еліпсу: $a = 12760$ км, $e = 0,485$, $T = 240^{\text{XB}}$; по гіперболі; впаде на планету.
484. 301 км і 2,94 км/с, 630 км і 3,34 км/с; 724 км і 7,26 км/с, 1534 км і 8,28 км/с.
485. 0,435 і 0,565; 0,252 і 0,748.
486. $44^{\text{XB}},8$ і $44^{\text{XB}},9$; 55^{XB} і $11^{\text{Г}}22^{\text{XB}}$.
487. 0,0123 і 0,0123.
488. 1,58, 1,71 і 1,46 км/с; 1,65, 1,69 і 1,61 км/с.
489. 0,108 і 0,107.
490. 0,814.
491. 6625 км; 0,011; $89^{\text{XB}},4$; 7,76, 7,85 і 7,68 км/с; $44^{\text{XB}},1$ і $45^{\text{XB}},3$.
492. 26170 км; 0,737; $11^{\text{Г}}42^{\text{XB}}$; 3,9, 10,02 і 1,52 км/с; 55^{XB} і $10^{\text{Г}}47^{\text{XB}}$.
493. 22240 км; 0,868; $39^{\text{Г}},5$; 0,98, 3,68 і 0,26 (км/с); $1^{\text{Г}}2$ і $38^{\text{Г}},3$; 91100 км; 0,212; 446^{XB} ; 37,3, 46,3 і 30,1 км/с; 93^{XB} і 163^{XB} .
494. 27000 км; 0,741; 40620 км; 9,94 і 1,48 км/с; $1^{\text{Г}}$ і $11^{\text{Г}},3$.
495. $a = 1880$ км, $q = 1780$ км, $Q = 1980$ км, $h_q = 43$ км, $\varepsilon = 0,053$, $v_n = 1,61$ км/с, $v_q = 1,70$ км/с, $v_Q = 1,53$ км/с, $t = 57^{\text{XB}}$ і $\tau = 65^{\text{XB}}$.
496. 1,262 ао.; 0,208; 258 діб 11,6 км/с.
497. $94^{\circ},1$ на захід від Сонця.
498. 5,6 км/с; $37^{\circ},6$ на схід.
499. 974 діб.
500. 0,862 а.о.; 0,161; 146 діб; 11,5 км/с; східна елонгація $45^{\circ},5$; до Землі: 10,8 км/с, за земними поглядами елонгація західна $98^{\circ},3$ (в небі Венери – східна); 2 роки 1 місяць.
501. Прискорення, що надає Місяцю Земля більше в 151000 разів.
502. 0,01.
503. 10 с.
504. 0,1615 м, 2,458 с.
505. З тією ж швидкістю.
506. 3,64 м/с².
507. 267 м/с².
508. Збільшиться вдвічі.
509. 1/1657 прискорення сили земного тяжіння.
510. 25,7 м/с².

511. $3,70, 8,86 \text{ і } 0,46 \text{ м/с}^2$.
512. В 6 разів.
513. $273 \text{ і } 11,3 \text{ м/с}^2$.
514. $2,45, 1,09 \text{ і } 0,93, 0,41 \text{ м/с}^2$.
515. $\sqrt[3]{mn^2} \text{ і } m$.
516. $0,59 \text{ см/с}^2$.
517. $0,59 \text{ см/с}^2$.
518. $0,27 \text{ см/с}^2$.
519. $0,27 \text{ см/с}^2$, в полі тяжіння Сонця $0,59 \text{ см/с}^2$.
520. $m:n^2 \text{ м}^{-1}$.
521. Від $2,71$ до $6,28 \text{ см/с}^2$; від $2,42 \cdot 10^{-4}$ до $6,82 \cdot 10^{-4} \text{ см/с}^2$; від $4,74 \cdot 10^{-4}$ до $1,68 \text{ см/с}^2$ (в 3550 разів).
522. Від $0,18$ до $8,11 \text{ м/с}^2$ (в 45 разів).
523. Від $0,93 \text{ см/с}^2$ до $8,21 \text{ м/с}^2$ (в 879 разів).
524. $75 \text{ см/с}^2 \text{ і } 3,76 \text{ см/с}^2$.
525. 4660 км від центра Землі.
526. 343980 км від центра Землі.
527. $24,8 \text{ м/с}^2$.
528. $46000:1$.
529. $50000 \text{ км}, 65 \cdot 10^{12} \text{ км}^3, 1,6 \text{ г/см}^3, 11 \text{ м/с}^2$.
530. $6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2/\text{кг}^2$.
531. 384000 км .
532. На 37%.
533. $1'', 5, 12^m$.
534. $0'', 19$.
535. $0'', 15, 16^m, 9$.
536. 45^\times .
537. 1500^\times .
538. 250^\times .
539. $0,065 \text{ м}, 0,0195 \text{ м}, 0,0065 \text{ м}$.
540. $3,72 \text{ мм}$.
541. 23 мм .
542. $1:16; 0'', 37; 15^m; 750^\times, 60^\times \text{ і } 190^\times; 1:8; 0'', 14; 17^m, 1; 2000^\times$ (ніколи не застосовується), $170^\times \text{ і } 500^\times$.
543. 1) $38^\times \text{ і } 53'$; $150^\times \text{ і } 13'$; 2) $430^\times \text{ і } 4', 6$; 1730^\times (не застосовується) і $1', 2$.
544. 1) $1:10; 2''; 11^m, 3; 140^\times, 12^\times \text{ і } 35^\times$; 2) $1:10, 2''; 11^m, 6; 160^\times, 13^\times \text{ і } 40^\times$.

545. 1) 25^x і $80'$; 35^x і $57'$; 70^x і $29'$; 2) 28^x і $71'$; 40^x і $50'$; 80^x і $25'$.
546. 1) 371^x і $5',4$; 520^x і $3',8$; 1040^x і $1',9$ (не застосовується); 180^x . 2) 124^x і $16',1$; 173^x і $11',5$; 346^x і $5',8$; 55^x ; (застосовуються всі).
547. 42^x , 500^x , 250^x – має сенс; 83^x , 1000^x і 1500^x – ні.
548. $0,7''$ і $0'',14$,
549. $2''$ і $1'',8$.
550. $1'',4$, 50^x і 20 мм; $0'',16$, 438^x і 32 мм.
551. Дві – в будь-який; третю – при 60^x і 120 мм.
552. Марс і Уран видно, Нептун – на межі.
553. $166,35$ мм.
554. $2,25$ мм.
555. $0,76$ мм.
556. 37^x і 30^x .
557. 1) $0,36$ мм і 28 мм; $69'',4$ мм $^{-1}$; 18900 км/мм і 124 км/мм.
2) $2,9$ мм і 223 мм; $8'',6$ мм $^{-1}$; 2340 км/мм і $15,6$ км/мм.
558. $4',3$ мм $^{-1}$; 68000 км/мм і 470 км/мм; $0,1$ мм і $7,4$ мм.
559. 344 см; $1:10,4$; $1'$ мм $^{-1}$; $0,58$ мм.
560. 80° , 115° і $1',2$.
561. 135^x і $14',8$
562. $40,5$ мм і $27'$; $13,5$ мм і 9^x .
563. 650 мм; $10,4$ м; $1:16$; $0'',22$; $16^m,1$; 1300^x (не застосовується) і 108^x ; $1',5$, $6',2$ і $18',5$; 13° , 53° і 158° ; 6° , 25° і 74° .
564. Оптичний $0'',02$, радіо $124'$; $4',2$ і $42'$.
565. $1',64$; $0'',025$ і $0'',28$.
566. $0,39$; $1,82$ і $0,11$.
567. 312° , 248° і 280° .
568. 100 .
569. 10^8 .
570. 630 .
571. 11^m .
572. 6 і 32 .
573. 49 і 166 .
574. 69 .
575. $2^m,5$; 5^m ; $7^m,5$.
576. 100 .
577. 35 .

578. 7.
 579. 1,8.
 580. 17.
 581. $437 \cdot 10^6$.
 582. $+1^m,25$ і $3,16$; $+0^m,2$ і $1,25$; $-0^m,17$ і $111,17$.
 583. $+2^m,4$ і $+4^m,32$; $+0^m,74$ і $-0^m,2$.
 584. 1; 4,13, 18,4 і 5,86; 1,24, 2,94 і 2,38.
 585. 1,69 і 1,79.
 586. 2,5.
 587. Зросте на $1^m,11$; зменшиться на $0^m,73$.
 588. 387.
 589. На $1^m,5$; $3^m,01$ і $5 \lg n$.
 590. $+3^m,98$ і $+5^m,48$; $-1^m,9$ і $-3^m,41$.
 591. 25,1.
 592. $437 \cdot 10^3$.
 593. $12 \cdot 10^9$.
 594. 83 і $-28^m,84$; $21'$ і $-25^m,86$; $49''$ і $-18^m,8$.
 595. -9^m і $12'$; $-5^m,2$ і $2'$.
 596. $12^m,1$ і $13^m,3$; $14^m,9$ і $16^m,1$; $15^m,1$ і $16^m,3$.
 597. Як зорі з $-4^m,4$ і $+0^m,2$.
 598. 46 млн. років.
 599. 9800 років.
 600. 8,8 св. р.
 601. $2,7 \text{ пк} = 8,8 \text{ св. р.} = 558000 \text{ а.о.} = 8,3 \cdot 10^{13}$; $50 \text{ пк} = 163 \text{ св. р.}$
 602. $5 \text{ пк} = 16,3 \text{ св. р.} = 1,03 \cdot 10^6 \text{ а.о.} = 15,4 \cdot 10^{13}$; $8,3 \text{ пк} = 27,2 \text{ св. р.} = 1,7 \cdot 10^6 \text{ а.о.} = 2,56 \cdot 10^{14}$.
 603. 200 пк і 652 св. р.; 27 пк і 88 св. р.; 3,98 пк і 13 св. р.
 604. Відстань до зорі лежить в межах від 3,26 пк до 3,14 пк.
 605. Відстань до зорі не менша 83 пк.
 606. $0'',004$; $0'',048$ і $0'',752$.
 607. 10200.
 608. Яскравішим здається Сіріус в 150 разів; світність зірки в сузір'ї Змії більша в 2,68 рази.
 609. $E_1:E_2 = 14,3$; $L_1:L_2 = 685$.
 610. $15^m,1$, ні.
 611. $\left(1 - \frac{1}{\sqrt{n}}\right) \frac{ac}{v}$.

- 612. 8000 років.
- 613. 97000 років.
- 614. 9,3; 4610; 1:7,6.
- 615. 16,8; 12940; 1:520.
- 616. 3,16; 1; 3,31.
- 617. 8320 і 17400.
- 618. 80800 і 61800; 5,61 і 2,45.
- 619. 67300; 1,3; в $13,2 \cdot 10^3$ разів менше.
- 620. 32,2 пк і 0",031; 19,2 пк і 0",052; 239 пк і 0",004.
- 621. 46,6 пк і 0",021.
- 622. Обидві слабші: в 2,5 і 36 разів.
- 623. $+0^m,41$.
- 624. $+6^m,83$ і $7^m,4$; $+8^m,39$ і $+8^m,96$; $+11^m,29$ і $+11^m,86$.
- 625. $+1^m,5$; $+1^m,75$; $+0^m,99$.
- 626. 20000 К; 6000 К; 4400 К.
- 627. Від 5750 до 5800 К.
- 628. 4995 Å.
- 629. 13600 К; 8400 К і 3000 К.
- 630. 15200 К; 13200 К і 3900 К.
- 631. 23000 К; 11200 К і 6000 К.
- 632. 4100 К; 4600 К; 6500 К і 23000 К.
- 633. 4000 К.
- 634. 20000 К; 11100 К; 6000 К і 3240 К.
- 635. 15500 К; 20300 К; 9100 К; 5080 К; 4060 К; 3350 К.
- 636. 1448, 2615, 4869, 8941, 1869, 1427, 3184, 5703, 7135, 8648 Å.
- 637. Від 2300 К до 1650 К.
- 638. 4200 К.
- 639. 8,38 Дж.
- 640. 3 мг.
- 641. 4350 К.
- 642. 3100 К.
- 643. 4000 К.
- 644. Діаметр α Скорпіона більший в 3000 разів.
- 645. $10,5R_{\odot}$.
- 646. $480R_{\odot}$.
- 647. $0,034R_{\odot}$.
- 648. $162R_{\odot}$; 0",033.
- 649. 3,1 і 29; 1,6 і 4,3; 97 і 912700; 45 і 89900.

650. 53 і 147000; 93 і 804400; 394 і $61 \cdot 10^6$.
 651. Відмінність в 494 рази.
 652. 650; 2,1; 0,97.
 653. 0",0014 і 38; 0",0017 і 23; 0",0035 і 42.
 654. В 400; 10^4 і $25 \cdot 10^4$ разів.
 655. 82.
 656. $-0^m,05$.
 657. -3^m .
 658. 21 і $5,53 \cdot 10^{-4}$ г/см³; 31 і $1,89 \cdot 10^{-4}$ г/см³; 0,28 і 32 г/см³.
 659. 4570; 71 і $4 \cdot 10^{-5}$ г/см³ – надгігант; 12,1; 1,5 і 0,99 г/см³ – зірка головної послідовності; $1,78 \cdot 10^{-4}$; 0,012 і 900 кг/см³ – білий карлик.
 660. 42,8.
 661. 4,2.
 662. 2,8 і 2,1; 2 і 1,8; 1,1 і 1,06.
 663. 1,6; 4,1 і 0,96 г/см³; 1,9; 6,9 і 0,41 г/см³;
 664. 1,2; 1,7 і 0,9 г/см³.
 665. 10^5 г/см³.
 666. $39 \cdot 10^{22}$ кВт, $4,33 \cdot 10^6$ т/с, $374 \cdot 10^9$ т/доба і $136 \cdot 10^{12}$ т/рік;
 $177 \cdot 10^{24}$ кВт, $19,7 \cdot 10^8$ т/с, $17 \cdot 10^{13}$ т/доба и $62 \cdot 10^{15}$ т/рік;
 $454 \cdot 10^{22}$ кВт, $50,4 \cdot 10^6$ т/с, $4,35 \cdot 10^{12}$ т/доба і $15,9 \cdot 10^{14}$ т/рік;
 $257 \cdot 10^{26}$ кВт, $28,6 \cdot 10^{10}$ т/с, $24,7 \cdot 10^{15}$ т/доба і $90,1 \cdot 10^{17}$ т/рік.
 667. $7,35 \cdot 10^{12}$ років; $8,06 \cdot 10^{10}$ років; $1,26 \cdot 10^{12}$ років; $1,66 \cdot 10^9$ років.
 668.

Зірка	M_0	L_0	M_b	L_b	M	R	ρ , г/см ³	T, K
Проціон	+2 ^m ,68	7	+2 ^m ,63	6,9	1,8	2,1	0,25	6400
Супутник	+13 ^m ,01	$5,2 \cdot 10^{-4}$	---	---	0,6	0,013	$3,9 \cdot 10^{-5}$	7900

Проціон – зірка головної послідовності, супутник – білий карлик.

669.

Зірка	M_0	L_0	M_b	L_b	R	M	ρ , г/см ³	T _к , K
α_1	+4 ^m ,71	1,06	+4 ^m ,66	1,07	1,05	1,05	1,28	5870
α_2	+6 ^m ,08	0,3	+5 ^m ,5	0,49	1,03	0,95	1,23	4600

Обидві – зорі головної послідовності.

670. 0^m,64.
 671. 1^m,6.
 672. 3^m,91.
 673. 3^m,85.

674. $4^m,73$ і $4^m,81$.
 675. $1^m,09$.
 676. $1^m,57$.
 677. $4^m,68$; $5^m,22$ і $6^m,79$
 678. $25,4$; $11,5$ і $36,9$.
 679. $2,7$.
 680. $15,2$ і $66,5$.
 681. 1.
 682. $4,6$ і $0,9$; $2,9$ і $3,3$; $1,8$ і $1,8$; $5,3$ і $3,2$.
 683. $7,5M_{\odot}$.
 684. $1,5M_{\odot}$.
 685. $23,5$.
 686. $2,1M_{\odot}$.
 687. $11,5$ а.о. і $6,5M_{\odot}$.
 688. $5,5M_{\odot}$.
 689. В $3,3$ і 22900 разів.
 690. В $2,3$ і $1,7$; $2,3$ і $1,9$ рази.
 691. Від 730 до 1010 (в $1,38$ раза) і від 160 до 230 (в $1,44$ рази).
 692. 4300 K і 4650 K .
 693.

В синіх променях	ΔB	ΔL_B	Збільшення блиску (за добу)	Зменшення блиску (за добу)
α М.Ведмедиці	$0^m,16$	$1,16$	$-0^m,121$	$+0^m,06$
ζ Близнюків	$0^m,8$	$2,09$	$-0^m,236$	$+0^m,118$
η Орла	$1^m,28$	$3,25$	$-0^m,535$	$+0^m,268$
ТУ Щита	$1^m,4$	$3,63$	$-1^m,38$	$+0^m,19$
UZ Щита	$1^m,37$	$3,53$	$-1^m,279$	$+0^m,14$

В синіх променях	ΔV	ΔL_V	Збільшення блиску (за добу)	Зменшення блиску (за добу)	Р, доби
α М.Ведмедиці	$0^m,11$	$1,11$	$-0^m,083$	$+0^m,042$	$3,97$
ζ Близнюків	$0^m,48$	$1,56$	$-0^m,142$	$+0^m,071$	$10,15$
η Орла	$0^m,83$	$2,15$	$-0^m,347$	$+0^m,174$	$7,18$
ТУ Щита	$0^m,87$	$2,23$	$-0^m,236$	$+0^m,118$	$11,05$
UZ Щита	$0^m,88$	$2,25$	$-0^m,179$	$+0^m,09$	$14,74$

694.

Зірка	Р, доби	ΔV	ΔB	$\Delta(B - V)$
α М.Ведмедиці	$3,97$	$0^m,11$	$0^m,16$	$+0^m,05$
ζ Близнюків	$7,18$	$0^m,83$	$1^m,28$	$+0^m,45$
η Орла	$10,15$	$0^m,48$	$0^m,8$	$+0^m,32$
ТУ Щита	$11,05$	$0^m,87$	$1^m,4$	$+0^m,53$
UZ Щита	$14,74$	$0^m,88$	$1^m,37$	$+0^m,49$

- 695.** $3^m,5$ і $5^m,4$.
696. В 5750 разів, на $-1^m,88$ або в 5,65 рази.
697. $1/250$ і $160 \cdot 10^3$; 1000 пк.
698. 700 км/с.
699. 2500 км/с.
700. $3,16$ Мпк, $32 \cdot 10^3$ пк \times $13 \cdot 10^3$ пк; $10,5$ Мпк, $43 \cdot 10^3$ пк \times $30 \cdot 10^3$ пк.
701. Наближається зі швидкістю 50 км/с.
702. $3,16 \text{ \AA}$.
703. 665,2 нм, 383,1 нм.
704. Від нас зі швидкістю 137 км/с.
705. $2,22 \text{ \AA}$.
706. +40,8 км/с.
707. -19,7 км/с.
708. До фіолетового кінця спектру: -0,042 мм і -0,043 мм.
709. -20,7 км/с.
710. $4 \cdot 10^{-6}$ м.
711. 4860,2; 4101,3 і 3749,4 \AA ; 4861,5; 4102,4 і 3750,4 \AA .
712. -19,8 км/с і -27,3 км/с.
713. +20,6 км/с.
714. -13,9 км/с.
716. 46° .
717. 25 км/с, 31° .
718. 16 км/с.
719. 18 км/с і 14 км/с.
720. $0'',44$.
721. 13 км/с і $236^\circ,2$; 10,1 км/с і $134^\circ,2$; 17,5 км/с і $45^\circ,1$; 33,4 км/с і $291^\circ,9$.
722. $1'',01$ і 142° .
723. $0'',55$ і 74° .
724. $-1'',2$.
725. $+1'',25$ і $-0^\circ,07$.
726. 90 км/с.
727. 17 км/с.
728. 18 км/с, 114° .
729. 15,8; 12,2 і 78 км/с.
730. $+0^\circ,036$ і $+0'',383$; $-0^\circ,003$ і $-0'',035$; $+0^\circ,481$ і $-2'',556$.
731. 19 км/с.
732. 57 км/с.

- 733.** Альтаір: за 2740 років, на пн.-сх., $\alpha = 19^{\circ}49^{\text{XB}}59^{\text{C}},1$ і $\delta = +9^{\circ}1'33''$; Спіка: за 33300 років, на пд.-зх., $\alpha = 13^{\circ}21^{\text{XB}}$ і $\delta = -11^{\circ}13'31''$; ε Індійця: за 384 роки, на пд.-сх., $\alpha = 22^{\circ}2^{\text{XB}}37^{\text{C}},7$ і $\delta = -57^{\circ}15'56''$.
- 734.** $\alpha = 1^{\circ}50^{\text{XB}}46^{\text{C}},4$ і $\delta = +8^{\circ}51'59''$; $\alpha = 13^{\circ}25^{\text{XB}}11^{\text{C}},1$ і $\delta = -11^{\circ}19'41''$; $\alpha = 22^{\circ}3^{\text{XB}}22^{\text{C}},1$ і $\delta = -56^{\circ}47'12''$.
- 735.** 24 км/с і 38° ; 6 км/с і 146° .
- 736.** 20,8 км/с і 99° .
- 737.** 41,2 км/с і $43^{\circ},2$.
- 738.** Через $310 \cdot 10^3$ років: 5,5 пк і $0^{\circ},182$; $0^{\circ},755$; 0 і 19 км/с; $-0^{\text{m}},71$.
- 739.** Через $28,1 \cdot 10^3$ років: 0,902 пк і $1^{\circ},108$; $7^{\circ},992$; 0 і 34 км/с; $-0^{\text{m}},78$. 10000 років тому: 1,6 пк і $0^{\circ},625$; $2^{\circ},505$; -28 км/с і 19 км/с; $+0^{\text{m}},46$. Через 10000 років: 0,967 пк і $1^{\circ},034$; $6^{\circ},915$; $+12$ км/с і 32 км/с; $-0^{\text{m}},62$.
- 740.** 11700 рік.
- 741.** $0^{\circ},574$ і $11^{\circ},56$.
- 742.** $30 \cdot 10^3$, $115,5 \cdot 10^3$ і $240 \cdot 10^3$ (км/с).
- 743.** В закритій: 545 Мпк; 2000 Мпк; 4000 Мпк; у відкритій: 564 Мпк; 2210 Мпк; 5080 Мпк.
- 744.** 0,29 і 1,65.
- 745.** $0,29c$ замість $0,25c$ і $1,65c$ замість $0,75c$.
- 746.** 510 км/с, 10,2 Мпк, $83,1 \cdot 10^3 \times 83,1 \cdot 10^3$ пк, $-21^{\text{m}},8$ і $43,7 \cdot 10^9$; 780 км/с, 15,6 Мпк, $49,9 \cdot 10^3 \times 36,3 \cdot 10^3$ пк, $-20^{\text{m}},9$ і $19 \cdot 10^9$; 1200 км/с, 24 Мпк, $62,8 \cdot 10^3 \times 41,9 \cdot 10^3$ пк, $-21^{\text{m}},8$ і $43,7 \cdot 10^9$.
- 747.** 1) 3060 Мпк і $76 \cdot 10^{10}$; 3590 Мпк і $132 \cdot 10^{10}$; 2) 4140 Мпк і $331 \cdot 10^{10}$; 5320 Мпк і $525 \cdot 10^{10}$.
- 748.** В закритій: 1620 Мпк, 4400 пк, $8,32 \cdot 10^{11}$. У відкритій: 1740 Мпк, 4720 пк, 10^{12} .
- 749.** В закритій: 828 Мпк, 963 пк, $4,37 \cdot 10^{12}$. У відкритій: 864 Мпк, 1000 пк, $4,79 \cdot 10^{12}$.
- 750.** $0,907c = 272000$ км/с; 4670 Мпк і 6360 Мпк.

**Додаток 1. Грецький алфавіт. Астрономічні символи.
Співвідношення між астрономічними
одинацями довжини**

Прописні букви використовуються в позначенні зір
(позначення по Байєру).

A	α	альфа	Ξ	ν	ню
Δ	β	бета	Ξ	ξ	ксі
X	γ	гамма	O	o	омікрон
Δ	δ	дельта	P	π	пі
E	ϵ	епсислон	P	ρ	ро
Z	ζ	дзета	Σ	σ	сигма
H	η	ета	T	τ	тау
Θ	θ	тета	Y	υ	епсислон
I	ι	йота	Φ	ϕ	фі
K	κ	каппа	X	χ	хі
Λ	λ	лямбда	Ψ	ψ	псі
M	μ	мю	Ω	ω	омега

Астрономічні символи

Сонце \odot

Земля \oplus

Місяць \odot

Співвідношення між астрономічними одинацями довжини

$$1 \text{ a.o.} = 1,49597890,5 \cdot 10^{11} \text{ м}$$

$$1 \text{ пк} = 3,26 \text{ св.р.} = 206265 \text{ a.o.} = 3 \cdot 10^{13} \text{ км} = 3 \cdot 10^{16} \text{ м}$$

$$1 \text{ св.р.} = 0,3066 \text{ пк} = 63240 \text{ a.o.} = 9,5 \cdot 10^{12} \text{ км} = 9,5 \cdot 10^{15} \text{ м}$$

$$1 \text{ Ангстрем } 1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ м}$$

$$1 \text{ нанометр } 1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м}$$

Додаток 2. Переведення одиниць часу в градусні одиниці

Години в градусах		Хвилини часу в градусах і хвилинах дуги				Секунди часу в хвилинах і секундах дуги			
ГОД.	0	ХВ.	0 '	ХВ.	0 '	С.	0 "	С.	0 "
1	15	1	0 15	31	7 45	1	0 15	31	7 45
2	30	2	0 30	32	8 00	2	0 30	32	8 00
3	45	3	0 45	33	8 15	3	0 45	33	8 15
4	60	4	1 00	34	8 30	4	1 00	34	8 30
5	75	5	1 15	35	8 45	5	1 15	35	8 45
6	90	6	1 30	36	9 00	6	1 30	36	9 00
7	105	7	1 45	37	9 15	7	1 45	37	9 15
8	120	8	2 00	38	9 30	8	2 00	38	9 30
9	135	9	2 15	39	9 45	9	2 15	39	9 45
10	150	10	2 30	40	10 00	10	2 30	40	10 00
11	165	11	2 45	41	10 15	11	2 45	41	10 15
12	180	12	3 00	42	10 30	12	3 00	42	10 30
13	195	13	3 15	43	10 45	13	3 15	43	10 45
14	210	14	3 30	44	11 00	14	3 30	44	11 00
15	225	15	3 45	45	11 15	15	3 45	45	11 15
16	240	16	4 00	46	11 30	16	4 00	46	11 30
17	255	17	4 15	47	11 45	17	4 15	47	11 45
18	270	18	4 30	48	12 00	18	4 30	48	12 00
19	285	19	4 45	49	12 15	19	4 45	49	12 15
20	300	20	5 00	50	12 30	20	5 00	50	12 30
21	315	21	5 15	51	12 45	21	5 15	51	12 45
22	330	22	5 30	52	13 00	22	5 30	52	13 00
23	345	23	5 45	53	13 15	23	5 45	53	13 15
24	360	24	6 00	54	13 30	24	6 00	54	13 30
		25	6 15	55	13 45	25	6 15	55	13 45
		26	6 30	56	14 00	26	6 30	56	14 00
		27	6 45	57	14 15	27	6 45	57	14 15
		28	7 00	58	14 30	28	7 00	58	14 30
		29	7 15	59	14 45	29	7 15	59	14 45
		30	7 30	60	15 00	30	7 30	60	15 0

Додаток 3. Переведення градусних одиниць в одиниці часу

Градуси в одиницях часу		Хвилини дуги в одиницях часу				Секунди дуги в одиницях часу			
°	Г. ХВ.	'	ХВ. С.	'	ХВ. С.	"	С.	"	С.
1	0 4	1	0 4	31	2 4	1	0,07	31	2,07
2	0 8	2	0 8	32	2 8	2	0,13	32	2,13
3	0 12	3	0 12	33	2 12	3	0,20	33	2,20
4	0 16	4	0 16	34	2 16	4	0,27	34	2,27
5	0 20	5	0 20	35	2 20	5	0,33	35	2,33
6	0 24	6	0 24	36	2 24	6	0,40	36	2,40
7	0 28	7	0 28	37	2 28	7	0,47	37	2,47
8	0 32	8	0 32	38	2 32	8	0,53	38	2,53
9	0 36	9	0 36	39	2 36	9	0,60	39	2,60
10	0 40	10	0 40	40	2 40	10	0,67	40	2,67
11	0 44	11	0 44	41	2 44	11	0,73	41	2,73
12	0 48	12	0 48	42	2 48	12	0,80	42	2,80
13	0 52	13	0 52	43	2 52	13	0,87	43	2,87
14	0 56	14	0 56	44	2 56	14	0,93	44	2,93
15	1 00	15	1 00	45	3 00	15	1,00	45	3,00
20	1 20	16	1 4	46	3 4	16	1,07	46	3,07
30	2 00	17	1 8	47	3 8	17	1,13	47	3,13
40	2 40	18	1 12	48	3 12	18	1,20	48	3,20
50	3 20	19	1 16	49	3 16	19	1,27	49	3,27
60	4 00	20	1 20	50	3 20	20	1,33	50	3,33
70	4 40	21	1 24	51	3 24	21	1,40	51	3,40
80	5 20	22	1 28	52	3 28	22	1,47	52	3,47
90	6 00	23	1 32	53	3 32	23	1,53	53	3,53
100	6 40	24	1 36	54	3 36	24	1,60	54	3,60
150	10 00	25	1 40	55	3 40	25	1,67	55	3,67
200	13 20	26	1 44	56	3 44	26	1,73	56	3,73
250	16 40	27	1 48	57	3 48	27	1,80	57	3,80
300	20 00	28	1 52	58	3 52	28	1,87	58	3,87
350	23 20	29	1 56	59	3 56	29	1,93	59	3,93
360	24 00	30	2 00	60	4 00	30	2,00	60	4,00

Додаток 4. Середня рефракція

z	Рефракція	z	Рефракція	z	Рефракція
0°	0' 0" 0	50°0'	1' 8",5	72°20'	2' 58" ,8
1	1 0	50°30'	9,9	72°40'	3' 2 ,4
2	2 0	51°0'	11,0	73°0'	6 ,1
8	3 0	51°30'	12,3	73°20'	10 ,0
4	4 0	52°0'	13,6	73°40'	13 ,9
5	5 0	52°30'	14,9	74°0'	18 ,1
6	6 0	53°0'	16,3	74°10'	20 ,5
7	7 1	53°30'	17,6	74°20'	22 ,4
8	8 1	54°0'	19,1	74°30'	24 ,6
9	9 1	54°30'	20,6	74°40'	26 ,9
10	10 1	55°0'	22,1	74°50'	29 ,2
11	11 2	55°30'	23,6	75°0'	31 ,5
12	12 2	56°0'	25,2	75°10'	34 ,0
13	13 3	56°30'	26,8	75°20'	36 ,5
14	14 4	57°0'	28,4	75°30'	39 ,0
15	15 4	57°30'	30,1	75°40'	41 ,6
16	16 5	58°0'	31,9	75°50'	44 ,2
17	17 6	58°30'	33,7	76° 0'	46 ,9
18	18 7	59°0'	35,5	76°10'	49 ,6
19	19 8	59°30'	37,4	76°20'	52 ,5
20	20 9	60°0'	39,4	76°30'	55 ,3
21	22 1	60°30'	41,4	76°40'	58 ,2
22	23 3	61°0'	43,5	76°50'	4' 1 ,2
23	24 4	61°30'	45,6	77°0'	4 ,3
24	25 6	62°0'	47,8	77°10'	7 ,5
25	26 8	62°30'	50,2	77°20'	10 ,7
26	28 1	63°0'	52,6	77°30'	14 ,0
27	29 3	63°30'	55,0	77°40'	17 ,3
28	30 6	64°0'	57,5	77°50'	20 ,8
29	31 9	64°30'	2' 0,1	78°0'	24 ,4
30	33 2	65°0'	2,8	78°10'	28 ,1
31	34 6	65°30'	5,7	78°20'	31 ,8
32	36 0	66°0'	8,6	78°30'	35 ,7
33	37 4	66°30'	11,6	78°40'	39 ,7
34	38 8	67°0'	14,8	78°50'	43 ,9
35	40 3	67°30'	18,1	79°0'	47 ,8
36	41 8	68°0'	21,6	79°10'	52 ,1
37	43 4	68°30'	25,1	79°20'	56 ,6
38	45 0	69°0'	28,9	79°30'	5' 1 ,1
39	46 6	69°30'	32,8	79°40'	5 ,8
40	48 3	70°0'	36,9	79°50'	10 ,6
41	50 0	70°30'	41,3	80°0'	15 ,5
42	51 8	71°0'	45,7		
43	53 6	71°20'	48,8		
44	55 5	71°40'	52,0		
45	57 5	72°0'	55,4		
46	59 6				
47	1 1 7				
48	3 8				
49	6 2				

Додаток 5. Зоряний час на Гринвічі в середній полудень

Місяці і числа		Зоряний час		Місяці і числа		Зоряний час	
Січень	1	18 ^г	40 ^{хв}	Липень	10	7 ^г	9 ^{хв}
Січень	11	19 ^г	20 ^{хв}	Липень	20	7 ^г	48 ^{хв}
Січень	21	19 ^г	29 ^{хв}	Липень	30	8 ^г	28 ^{хв}
Січень	31	20 ^г	38 ^{хв}	Серпень	9	9 ^г	7 ^{хв}
Лютий	10	21 ^г	18 ^{хв}	Серпень	19	9 ^г	47 ^{хв}
Лютий	20	21 ^г	57 ^{хв}	Серпень	29	10 ^г	26 ^{хв}
Березень	2	22 ^г	36 ^{хв}	Вересень	8	11 ^г	6 ^{хв}
Березень	12	23 ^г	16 ^{хв}	Вересень	18	11 ^г	45 ^{хв}
Березень	22	23 ^г	55 ^{хв}	Вересень	28	12 ^г	24 ^{хв}
Квітень	1	0 ^г	35 ^{хв}	Жовтень	8	13 ^г	4 ^{хв}
Квітень	11	1 ^г	14 ^{хв}	Жовтень	18	13 ^г	43 ^{хв}
Квітень	21	1 ^г	54 ^{хв}	Жовтень	28	14 ^г	23 ^{хв}
Травень	1	2 ^г	33 ^{хв}	Листопад	7	15 ^г	2 ^{хв}
Травень	11	3 ^г	12 ^{хв}	Листопад	17	15 ^г	42 ^{хв}
Травень	21	3 ^г	52 ^{хв}	Листопад	27	16 ^г	21 ^{хв}
Травень	31	4 ^г	31 ^{хв}	Грудень	7	17 ^г	0 ^{хв}
Червень	10	5 ^г	11 ^{хв}	Грудень	17	17 ^г	40 ^{хв}
Червень	20	5 ^г	50 ^{хв}	Грудень	27	18 ^г	19 ^{хв}
Червень	30	6 ^г	30 ^{хв}				

За кожен середню добу зоряний час випереджає середній сонячний на 3^{хв}56^с,6, а за кожен середню годину – на 10^с.

Додаток 6. Переведення інтервалів часу

При переведенні інтервалів середнього місцевого часу ΔT в інтервали зоряного часу ΔS поправка додається.

При переведенні інтервалів зоряного часу ΔS в інтервали середнього місцевого часу ΔT поправка віднімається.

Інтервал Поправка			Інтервал			Інтервал Поправка		Інтервал Поправка		Інтервал Поправка		Інтервал Поправка	
ГОД.	ХВ.	С.	ГОД.	ХВ.	С.	ХВ.	С.	ХВ.	С.	ХВ.	С.	ХВ.	С.
1	0	10	13	2	08	1	0	16	3	31	5	46	8
2	0	20	14	2	13	2	0	17	3	32	5	47	8
3	0	30	15	2	28	3	0	18	3	33	5	48	8
4	0	39	16	2	38	4	1	19	3	34	6	49	8
5	0	49	17	2	47	5	1	20	3	35	6	50	8
6	0	59	18	2	57	6	1	21	3	36	6	51	8
7	1	09	19	3	07	7	1	22	4	37	6	52	9
8	1	19	20	3	17	8	1	23	4	38	6	53	9
9	1	29	21	3	27	9	1	24	4	39	6	54	9
10	1	38	22	3	37	10	2	25	4	40	7	55	9
11	1	48	23	3	46	11	2	26	4	41	7	56	9
12	1	58	24	3	56	12	2	27	4	42	7	57	9
						13	2	28	5	43	7	58	10
						14	2	29	5	44	7	59	10
						15	2	30	5	45	7	60	10

Додаток 7. Дані про Сонце

$$\begin{aligned}
 M_V &= +4^m,79; & m_V &= V = -26,78^m; \\
 U &= -26,05^m; & B &= -26,16^m; \\
 U - B &= +0,10^m, & B - V &= +0,62^m; \\
 BC &= -0,07^m; & M_U &= +5,51^m; \\
 M_B &= +5,41^m; & M_b &= +4,72^m; \\
 m_b &= -26,85^m
 \end{aligned}$$

Маса Сонця	$1,989 \cdot 10^{30}$ кг
Сонячний радіус	$6,9599 \cdot 10^8$ м
Сонячна світність	$3,826 \cdot 10^{26}$ Вт
Прискорення сили тяжіння на поверхні	274 м/с^2
Ефективна температура	5807 К
Сонячна стала	$0,1368 \text{ Вт/см}^2$
Середній видимий кутовий діаметр	$32'03'',56$
Сонячний паралакс	$8,794''$
Середня густина Сонця	$1408,4 \text{ кг/м}^3$
Нахил екліптики	$23^\circ 26'$
Лінійна швидкість на екваторі	2025 м/с
Друга космічна швидкість на поверхні	$617,7 \text{ км/с}$
Відстань до центра Галактики	10000 пк
Швидкість руху навколо центра Галактики	250 км/с
Період обертання навколо центра Галактики	200 млн.р.
Світлове рівняння	$499,004780 \text{ с}$
Число ефемеридних секунд в тропічному році	31556925,9747
Поперечник Галактики	200000 св.р.
Маса Галактики	$2 \cdot 10^{11} M_\odot$
Стала Габбла	$75 \text{ км/(с} \cdot \text{Мпк)}$

Додаток 8. Таблиця схилення Сонця протягом року

День	СІЧ	ЛЮТ	БЕР	КВІ	ТРА	ЧЕР	ЛИП	СЕР	ВЕР	ЖОВ	ЛИС	ГРУ
1	-23°04'	-17°20'	-7°49'	+4°18'	+14°54'	+21°58'	+23°09'	+18°10'	+8°30'	-2°57'	-14°14'	-21°43'
2	-22°59'	-17°03'	-7°26'	+4°42'	+15°12'	+22°06'	+23°05'	+17°55'	+8°09'	-3°20'	-14°34'	-21°52'
3	-22°54'	-16°46'	-7°03'	+5°05'	+15°30'	+22°14'	+23°01'	+17°40'	+7°47'	-3°44'	-14°53'	-22°01'
4	-22°48'	-16°28'	-6°40'	+5°28'	+15°47'	+22°22'	+22°56'	+17°24'	+7°25'	-4°07'	-15°11'	-22°10'
5	-22°42'	-16°10'	-6°17'	+5°51'	+16°05'	+22°29'	+22°51'	+17°08'	+7°03'	-4°30'	-15°30'	-22°18'
6	-22°36'	-15°52'	-5°54'	+6°13'	+16°22'	+22°35'	+22°45'	+16°52'	+6°40'	-4°53'	-15°48'	-22°25'
7	-22°28'	-15°34'	-5°30'	+6°36'	+16°39'	+22°42'	+22°39'	+16°36'	+6°18'	-5°16'	-16°06'	-22°32'
8	-22°21'	-15°15'	-5°07'	+6°59'	+16°55'	+22°47'	+22°33'	+16°19'	+5°56'	-5°39'	-16°24'	-22°39'
9	-22°13'	-14°56'	-4°44'	+7°21'	+17°12'	+22°53'	+22°26'	+16°02'	+5°33'	-6°02'	-16°41'	-22°46'
10	-22°05'	-14°37'	-4°20'	+7°43'	+17°27'	+22°58'	+22°19'	+15°45'	+5°10'	-6°25'	-16°58'	-22°52'
11	-21°56'	-14°18'	-3°57'	+8°07'	+17°43'	+23°02'	+22°11'	+15°27'	+4°48'	-6°48'	-17°15'	-22°57'
12	-21°47'	-13°58'	-3°33'	+8°28'	+17°59'	+23°07'	+22°04'	+15°10'	+4°25'	-7°10'	-17°32'	-23°02'
13	-21°37'	-13°38'	-3°10'	+8°50'	+18°14'	+23°11'	+21°55'	+14°52'	+4°02'	-7°32'	-17°48'	-23°07'
14	-21°27'	-13°18'	-2°46'	+9°11'	+18°29'	+23°14'	+21°46'	+14°33'	+3°39'	-7°55'	-18°04'	-23°11'
15	-21°16'	-12°58'	-2°22'	+9°33'	+18°43'	+23°17'	+21°37'	+14°15'	+3°16'	-8°18'	-18°20'	-23°14'
16	-21°06'	-12°37'	-1°59'	+9°54'	+18°58'	+23°20'	+21°28'	+13°56'	+2°53'	-8°40'	-18°35'	-23°17'
17	-20°54'	-12°16'	-1°35'	+10°16'	+19°11'	+23°22'	+21°18'	+13°37'	+2°30'	-9°02'	-18°50'	-23°20'
18	-20°42'	-11°55'	-1°11'	+10°37'	+19°25'	+23°24'	+21°08'	+13°18'	+2°06'	-9°24'	-19°05'	-23°22'
19	-20°30'	-11°34'	-0°48'	+10°58'	+19°38'	+23°25'	+20°58'	+12°59'	+1°43'	-9°45'	-19°19'	-23°24'
20	-20°18'	-11°13'	-0°24'	+11°19'	+19°51'	+23°26'	+20°47'	+12°39'	+1°20'	-10°07'	-19°33'	-23°25'
21	-20°05'	-10°52'	0°00'	+11°39'	+20°04'	+23°26'	+20°36'	+12°19'	+0°57'	-10°29'	-19°47'	-23°26'
22	-19°52'	-10°30'	+0°24'	+12°00'	+20°16'	+23°26'	+20°24'	+11°59'	+0°33'	-10°50'	-20°00'	-23°26'
23	-19°38'	-10°08'	+0°47'	+12°20'	+20°28'	+23°26'	+20°12'	+11°39'	+0°10'	-11°12'	-20°13'	-23°26'
24	-19°24'	-9°46'	+1°11'	+12°40'	+20°39'	+23°25'	+20°00'	+11°19'	-0°14'	-11°33'	-20°26'	-23°26'
25	-19°10'	-9°24'	+1°35'	+13°00'	+20°50'	+23°24'	+19°47'	+10°58'	-0°37'	-11°54'	-20°38'	-23°25'
26	-18°55'	-9°02'	+1°58'	+13°19'	+21°01'	+23°23'	+19°34'	+10°38'	-1°00'	-12°14'	-20°50'	-23°23'
27	-18°40'	-8°39'	+2°22'	+13°38'	+21°12'	+23°21'	+19°21'	+10°17'	-1°24'	-12°35'	-21°01'	-23°21'
28	-18°25'	-8°17'	+2°45'	+13°58'	+21°22'	+23°19'	+19°08'	+9°56'	-1°47'	-12°55'	-21°12'	-23°19'
29	-18°09'	-8°03'	+3°09'	+14°16'	+21°31'	+23°16'	+18°54'	+9°35'	-2°10'	-13°15'	-21°23'	-23°16'
30	-17°53'		+3°32'	+14°35'	+21°41'	+23°13'	+18°40'	+9°13'	-2°34'	-13°35'	-21°33'	-23°12'
31	-17°37'		+3°55'		+21°50'		+18°25'	+8°52'		-13°55'		-23°08'

Додаток 9. Кутовий діаметр Сонця протягом року

<i>Дата</i>	<i>D_☉, "</i>	<i>Дата</i>	<i>D_☉, "</i>	<i>Дата</i>	<i>D_☉, "</i>	<i>Дата</i>	<i>D_☉, "</i>
1/12/2011	1946	1/01/2012	1952	1/02/2012	1948	1/03/2012	1937
2/12/2011	1947	2/01/2012	1952	2/02/2012	1948	2/03/2012	1936
3/12/2011	1947	3/01/2012	1952	3/02/2012	1947	3/03/2012	1936
4/12/2011	1947	4/01/2012	1952	4/02/2012	1947	4/03/2012	1935
5/12/2011	1948	5/01/2012	1952	5/02/2012	1947	5/03/2012	1935
6/12/2011	1948	6/01/2012	1952	6/02/2012	1946	6/03/2012	1934
7/12/2011	1948	7/01/2012	1952	7/02/2012	1946	7/03/2012	1934
8/12/2011	1948	8/01/2012	1952	8/02/2012	1946	8/03/2012	1933
9/12/2011	1949	9/01/2012	1952	9/02/2012	1946	9/03/2012	1933
10/12/2011	1949	10/01/2012	1952	10/02/2012	1945	10/03/2012	1932
11/12/2011	1949	11/01/2012	1952	11/02/2012	1945	11/03/2012	1932
12/12/2011	1949	12/01/2012	1952	12/02/2012	1944	12/03/2012	1931
13/12/2011	1950	13/01/2012	1951	13/02/2012	1944	13/03/2012	1931
14/12/2011	1950	14/01/2012	1951	14/02/2012	1944	14/03/2012	1930
15/12/2011	1950	15/01/2012	1951	15/02/2012	1943	15/03/2012	1930
16/12/2011	1950	16/01/2012	1951	16/02/2012	1943	16/03/2012	1929
17/12/2011	1950	17/01/2012	1951	17/02/2012	1942	17/03/2012	1929
18/12/2011	1950	18/01/2012	1951	18/02/2012	1942	18/03/2012	1928
19/12/2011	1951	19/01/2012	1951	19/02/2012	1942	19/03/2012	1928
20/12/2011	1951	20/01/2012	1950	20/02/2012	1941	20/03/2012	1927
21/12/2011	1951	21/01/2012	1950	21/02/2012	1941	21/03/2012	1926
22/12/2011	1951	22/01/2012	1950	22/02/2012	1940	22/03/2012	1926
23/12/2011	1951	23/01/2012	1950	23/02/2012	1940	23/03/2012	1925
24/12/2011	1951	24/01/2012	1950	24/02/2012	1939	24/03/2012	1925
25/12/2011	1951	25/01/2012	1950	25/02/2012	1939	25/03/2012	1924
26/12/2011	1951	26/01/2012	1949	26/02/2012	1939	26/03/2012	1924
27/12/2011	1951	27/01/2012	1949	27/02/2012	1938	27/03/2012	1923
28/12/2011	1952	28/01/2012	1949	28/02/2012	1938	28/03/2012	1923
29/12/2011	1952	29/01/2012	1949	29/02/2012	1937	29/03/2012	1922
30/12/2011	1952	30/01/2012	1948			30/03/2012	1922
31/12/2011	1952	31/01/2012	1948			31/03/2012	1921
<hr/>							
1/04/2012	1920	1/05/2012	1905	1/06/2012	1893	1/07/2012	1888
2/04/2012	1920	2/05/2012	1904	2/06/2012	1892	2/07/2012	1888
3/04/2012	1919	3/05/2012	1904	3/06/2012	1892	3/07/2012	1888
4/04/2012	1919	4/05/2012	1903	4/06/2012	1892	4/07/2012	1888
5/04/2012	1918	5/05/2012	1903	5/06/2012	1892	5/07/2012	1888
6/04/2012	1918	6/05/2012	1902	6/06/2012	1891	6/07/2012	1888
7/04/2012	1917	7/05/2012	1902	7/06/2012	1891	7/07/2012	1888
8/04/2012	1917	8/05/2012	1901	8/06/2012	1891	8/07/2012	1888
9/04/2012	1916	9/05/2012	1901	9/06/2012	1891	9/07/2012	1888
10/04/2012	1916	10/05/2012	1901	10/06/2012	1890	10/07/2012	1888
11/04/2012	1915	11/05/2012	1900	11/06/2012	1890	11/07/2012	1888
12/04/2012	1914	12/05/2012	1900	12/06/2012	1890	12/07/2012	1888
13/04/2012	1914	13/05/2012	1899	13/06/2012	1890	13/07/2012	1888
14/04/2012	1913	14/05/2012	1899	14/06/2012	1890	14/07/2012	1888
15/04/2012	1913	15/05/2012	1898	15/06/2012	1889	15/07/2012	1888
16/04/2012	1912	16/05/2012	1898	16/06/2012	1889	16/07/2012	1888
17/04/2012	1912	17/05/2012	1898	17/06/2012	1889	17/07/2012	1888
18/04/2012	1911	18/05/2012	1897	18/06/2012	1889	18/07/2012	1888
19/04/2012	1911	19/05/2012	1897	19/06/2012	1889	19/07/2012	1889

20/04/2012	1910	20/05/2012	1896	20/06/2012	1889	20/07/2012	1889
21/04/2012	1910	21/05/2012	1896	21/06/2012	1888	21/07/2012	1889
22/04/2012	1909	22/05/2012	1896	22/06/2012	1888	22/07/2012	1889
23/04/2012	1909	23/05/2012	1895	23/06/2012	1888	23/07/2012	1889
24/04/2012	1908	24/05/2012	1895	24/06/2012	1888	24/07/2012	1889
25/04/2012	1908	25/05/2012	1895	25/06/2012	1888	25/07/2012	1890
26/04/2012	1907	26/05/2012	1894	26/06/2012	1888	26/07/2012	1890
27/04/2012	1907	27/05/2012	1894	27/06/2012	1888	27/07/2012	1890
28/04/2012	1906	28/05/2012	1894	28/06/2012	1888	28/07/2012	1890
29/04/2012	1906	29/05/2012	1893	29/06/2012	1888	29/07/2012	1890
30/04/2012	1905	30/05/2012	1893	30/06/2012	1888	30/07/2012	1891
		31/05/2012	1893			31/07/2012	1891
<hr/>							
1/08/2012	1891	1/09/2012	1902	1/10/2012	1917	1/11/2012	1934
2/08/2012	1891	2/09/2012	1902	2/10/2012	1918	2/11/2012	1935
3/08/2012	1892	3/09/2012	1903	3/10/2012	1918	3/11/2012	1935
4/08/2012	1892	4/09/2012	1903	4/10/2012	1919	4/11/2012	1935
5/08/2012	1892	5/09/2012	1904	5/10/2012	1919	5/11/2012	1936
6/08/2012	1892	6/09/2012	1904	6/10/2012	1920	6/11/2012	1936
7/08/2012	1893	7/09/2012	1905	7/10/2012	1921	7/11/2012	1937
8/08/2012	1893	8/09/2012	1905	8/10/2012	1921	8/11/2012	1937
9/08/2012	1893	9/09/2012	1906	9/10/2012	1922	9/11/2012	1938
10/08/2012	1894	10/09/2012	1906	10/10/2012	1922	10/11/2012	1938
11/08/2012	1894	11/09/2012	1907	11/10/2012	1923	11/11/2012	1939
12/08/2012	1894	12/09/2012	1907	12/10/2012	1923	12/11/2012	1939
13/08/2012	1894	13/09/2012	1908	13/10/2012	1924	13/11/2012	1940
14/08/2012	1895	14/09/2012	1908	14/10/2012	1924	14/11/2012	1940
15/08/2012	1895	15/09/2012	1909	15/10/2012	1925	15/11/2012	1940
16/08/2012	1895	16/09/2012	1909	16/10/2012	1925	16/11/2012	1941
17/08/2012	1896	17/09/2012	1910	17/10/2012	1926	17/11/2012	1941
18/08/2012	1896	18/09/2012	1910	18/10/2012	1927	18/11/2012	1942
19/08/2012	1897	19/09/2012	1911	19/10/2012	1927	19/11/2012	1942
20/08/2012	1897	20/09/2012	1911	20/10/2012	1928	20/11/2012	1943
21/08/2012	1897	21/09/2012	1912	21/10/2012	1928	21/11/2012	1943
22/08/2012	1898	22/09/2012	1912	22/10/2012	1929	22/11/2012	1943
23/08/2012	1898	23/09/2012	1913	23/10/2012	1929	23/11/2012	1944
24/08/2012	1899	24/09/2012	1913	24/10/2012	1930	24/11/2012	1944
25/08/2012	1899	25/09/2012	1914	25/10/2012	1930	25/11/2012	1945
26/08/2012	1899	26/09/2012	1915	26/10/2012	1931	26/11/2012	1945
27/08/2012	1900	27/09/2012	1915	27/10/2012	1931	27/11/2012	1945
28/08/2012	1900	28/09/2012	1916	28/10/2012	1932	28/11/2012	1946
29/08/2012	1901	29/09/2012	1916	29/10/2012	1933	29/11/2012	1946
30/08/2012	1901	30/09/2012	1917	30/10/2012	1933	30/11/2012	1946
31/08/2012	1902			31/10/2012	1934		
<hr/>							
1/12/2012	1947	9/12/2012	1949	17/12/2012	1950	25/12/2012	1952
2/12/2012	1947	10/12/2012	1949	18/12/2012	1951	26/12/2012	1952
3/12/2012	1947	11/12/2012	1949	19/12/2012	1951	27/12/2012	1952
4/12/2012	1947	12/12/2012	1949	20/12/2012	1951	28/12/2012	1952
5/12/2012	1948	13/12/2012	1950	21/12/2012	1951	29/12/2012	1952
6/12/2012	1948	14/12/2012	1950	22/12/2012	1951	30/12/2012	1952
7/12/2012	1948	15/12/2012	1950	23/12/2012	1951	31/12/2012	1952
8/12/2012	1948	16/12/2012	1950	24/12/2012	1951		

Додаток 10. Дані про Землю та Місяць

Середній радіус Землі	$6,3713 \cdot 10^6 \text{ м}$
Екваторіальний радіус Землі	$6,378 \cdot 10^6 \text{ м}$
Полярний радіус Землі	$6,35678 \cdot 10^6 \text{ км}$
Маса Землі	$5,9737 \cdot 10^{24} \text{ кг}$
Середня густина Землі	$5,515 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$
Об'єм Землі	$10,8321 \cdot 10^{11} \text{ км}^3$
Площа поверхні Землі	$5,1072 \cdot 10^8 \text{ км}^2$
Стиск Землі	0,0033528
Прискорення вільного падіння на поверхні Землі (на екваторі)	$9,780318455 \text{ м/с}^2$
Прискорення вільного падіння на поверхні Землі (на полюсі)	$9,832177280 \text{ м/с}^2$
Перша космічна швидкість на поверхні Землі	7,9 км/с
Друга космічна швидкість на поверхні Землі	11,186 км/с
Період обертання Землі навколо осі	$23^{\text{h}}56^{\text{m}}4^{\text{s}},1$
Середній ексцентриситет орбіти Землі	0,01671123
Швидкість руху Землі по орбіті	29,785 км/с
Сидеричний період обертання Землі	365,256363 діб
Середній радіус Місяця	$1,7371 \cdot 10^6 \text{ м}$
Середній видимий кутовий діаметр Місяця	31'26"
Маса Місяця	$7,3477 \cdot 10^{22} \text{ кг}$
Об'єм Місяця	$2,1958 \cdot 10^{10} \text{ км}^3$
Площа поверхні Місяця	$3,793 \cdot 10^7 \text{ км}^2$
Середня густина Місяця	$3,3464 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$
Прискорення вільного падіння на поверхні Місяця	$1,623 \text{ м/с}^2$
Перша космічна швидкість на поверхні Місяця	1,68 км/с
Друга космічна швидкість на поверхні Місяця	2,38 км/с
Відстань між центрами Землі і Місяця	$3,84 \cdot 10^8 \text{ м}$
Відношення мас Землі і Місяця	81,3
Середній ексцентриситет орбіти Місяця	0,0549
Середня швидкість руху Місяця по орбіті	1,023 км/с
Сидеричний період обертання Місяця	27,321 582 діб
Синодичний період обертання Місяця	29,530588 діб

Додаток 11. Характеристики планетних орбіт та обернені значення мас планет

Планета	Велика піввісь орбіти		Сидеричний період обертання		Синодичний період обертання	Середній добовий рух	Ексцентриситет
	а, а.о.	а, млн. км	роки	доби			
Меркурій	0,3871	57,91	0,24085	87,969	115,88	14732"	0,2056
Венера	0,7233	108,20	0,61521	224,701	583,92	5768"	0,0068
Земля	1,0000	149,60	1,00004	365,256	-	3548"	0,0167
Марс	1,5237	227,94	1,88089	686,980	779,94	1887"	0,0934
Юпітер	5,2028	778,33	11,8623	4332,71	398,88	299"	0,0483
Сатурн	9,5388	1426,98	29,458	10759,5	378,09	120"	0,0560
Уран	19,1914	2870,99	84,01	30685	369,66	42,2"	0,0461
Нептун	30,0611	4497,07	164,79	60190	367,49	21,5"	0,0097
Плутон	39,5294	5913,52	248,54	90800	366,73	14,5"	0,2482

Обернені значення мас планет (відношення маси Сонця до маси планети)

Меркурій	6000000
Венера	408000
Земля + Місяць	329390
Земля	332958
Марс	3093500
Юпітер	1047,355
Сатурн	3501,6
Уран	22869
Нептун	19314
Плутон	360000

Додаток 12. Фізичні характеристики планет

Планета	Середній радіус		Маса		Густина, кг/м ³
	км	В радіусах Землі	В масах Землі	10 ²⁴ кг	
Меркурій	2439	0,383	0,055	0,330	5500
Венера	6052	0,950	0,815	4,87	5200
Земля	6371	1,000	1,000	5,98	5515
Марс	3393	0,532	0,107	0,64	3900
Юпітер	71398	11,19	317,89	1900	1300
Сатурн	60000	9,41	95,17	568	700
Уран	26200	4,11	14,6	87	1600
Нептун	24300	3,81	17,2	103	1720
Плутон	2500	0,39	0,0025	0,015	1700

Планета	Гравітаційне прискорення на екваторі, м/с ²	Параболічна швидкість, км/с	Сидеричний екваторіальний період обертання	Нахил екватора до площини орбіти	Стиск
Меркурій	3,72	4,3	58,65 ^d	2°	0
Венера	8,87	10,4	243,16 ^d	177°,3	0
Земля	9,78	11,2	23 ^h 56 ^m	23°,45	0,0034
Марс	3,76	5,0	24 ^h 37 ^m	25°,19	0,0052
Юпітер	25	61,0	9 ^h 50 ^m	3°,12	0,0649
Сатурн	11,0	36,0	10 ^h 14 ^m	26°,73	0,0980
Уран	9,50	22,0	10 ^h 49 ^m	97°,86	0,0229
Нептун	11,50	24,0	19 ^h 00 ^m	29°,6	0,017
Плутон	0,6	0,72	6 ^h 38 ^m	122°,46	0

Додаток 13. Основні характеристики супутників планет

m – видима зоряна величина, a – середня відстань до планети (км), T – зоряний період обертання (добі), i – нахил орбіти ($^{\circ}$), e – ексцентриситет орбіти, R – радіус супутника (км), $m(\varrho)$ – маса супутника, ρ – середня густина супутника (г/см³).

Назва	m	a	T	i	e	R	$m(\varrho)$	ρ
Супутник Землі								
Місяць	-12,7	384400	27,322	18,3-28,6	0,05	1,738	$7,35 \times 10^{25}$	3,34
Супутники Марса								
Фобос	11,3	9380	0,319	1,0	0,01	14×10	$1,08 \times 10^{19}$	2,0
Деймос	12,4	23460	1,263	0,9-2,7	0,00	8×6	$1,8 \times 10^{18}$	1,7
Супутники Юпітера								
Метиди	17,5	127960	0,295	0	0	(20)	?	?
Адрастея	18,7	128980	0,298	0	0	12×8	?	?
Амальтея	14,1	181300	0,498	0,4	0	135×75	?	?
Теба	16,0	221900	0,675	(0,8)	0,01	(50)	?	?
Іо	5,0	421600	1,769	0,04	0	1,815	$8,94 \times 10^{25}$	3,57
Європа	5,3	670900	3,551	047	0,01	1,569	$4,8 \times 10^{25}$	2,97
Ганімед	4,6	1070000	7,155	0,19	0	2,631	$1,48 \times 10^{26}$	1,94
Каллісто	5,6	1883000	16,689	0,28	0,01	2,400	$1,08 \times 10^{26}$	1,86
Леда	20,2	11094000	238,72	27	0,15	(8)	?	?
Гімалія	15,0	11480000	250,57	28	0,16	(90)	?	?
Лісітея	18,2	11720000	259,22	29	0,11	(20)	?	?
Елара	16,6	11737000	259,65	28	0,21	(40)	?	?
Ананке	18,9	21200000	631	147	0,17	(15)	?	?
Карме	17,9	22600000	692	163	0,21	(22)	?	?
Пасіфе	16,9	23500000	735	147	0,38	(35)	?	?
Синопе	18,0	23700000	758	153	0,28	(20)	?	?
Супутники Сатурна								
Пан	?	133570	0,576	(0)	(0)	(10)	?	?
Атлант	18,0	137640	0,602	(0)	(0)	20×15	?	?
Прометей	15,8	139350	0,613	(0)	0,00	70×40	?	?
Пандора	16,5	141700	0,629	(0)	0,00	55×35	?	?
Епіметей	15,7	151422	0,694	0,34	0,01	70×50	?	?
Янус	14,5	151472	0,695	0,14	0,01	110×80	?	?
Мімас	12,9	185520	0,942	1,53	0,02	195	$3,8 \times 10^{22}$	1,17
Енцелад	11,7	238020	1,370	0,02	0,00	250	$8,4 \times 10^{22}$	1,24
Тетія	10,2	294660	1,888	1,09	0,00	525	$7,55 \times 10^{23}$	1,26
Телесто	18,7	294660	1,888	(0)	(0)	(12)	?	?
Каліпсо	19,0	294660	1,888	(0)	(0)	15×10	?	?
Діона	10,4	377400	2,737	0,02	0,00	560	$1,05 \times 10^{24}$	1,44
Єлена	18,4	377400	2,737	0,2	0,01	18×15	?	?
Рея	9,7	527040	4,518	0,35	0,00	765	$2,49 \times 10^{24}$	1,33
Титан	8,3	1,221850	15,945	0,33	0,03	2,575	$1,35 \times 10^{26}$	1,88
Гіперіон	14,2	1481000	21,277	0,43	0,10	175×100	?	?
Янет	10,2-11,9	3561300	79,331	14,72	0,03	720	$1,88 \times 10^{24}$	1,21
Феба	16,5	12952000	550,48	175,3	0,16	110	?	?
Супутники Урана								
Корделія	24	49750	0,335	(0,14)	(0)	(15)	?	?

Назва	<i>m</i>	<i>a</i>	<i>T</i>	<i>i</i>	<i>e</i>	<i>R</i>	<i>m</i> (<i>z</i>)	<i>ρ</i>
Офелія	24	53760	0,376	(0,09)	(0,01)	(15)	?	?
Біанка	23	59160	0,435	(0,16)	(0)	(20)	?	?
Кресіда	22	61770	0,464	(0,04)	(0)	(35)	?	?
Дездемона	22	62660	0,474	(0,16)	(0)	(30)	?	?
Джув'єтта	22	64360	0,493	(0,06)	(0)	(40)	?	?
Порція	21	66100	0,513	(0,09)	(0)	(55)	?	?
Розалінда	22	69930	0,558	(0,28)	(0)	(30)	?	?
Белінда	22	75260	0,624	(0,03)	(0)	(35)	?	?
Пак	20	86010	0,762	(0,31)	(0)	75	?	?
Міранда	16,5	129780	1,414	3,40	0,00	235	$6,89 \times 10^{22}$	1,35
Аріель	14,4	191240	2,520	0,00	0,00	580	$1,26 \times 10^{24}$	1,66
Умбріель	15,3	265970	4,144	0,00	0,00	585	$1,33 \times 10^{24}$	1,51
Титанія	14,0	435840	8,706	0,00	0,00	790	$3,48 \times 10^{24}$	1,68
Оберон	14,2	582600	13,463	0,00	0,00	760	$3,03 \times 10^{24}$	1,58
Супутники Нептуна								
Наяда	25	48000	0,296	(4,7)	(0)	(25)	?	?
Таласса	24	50000	0,312	(0)	(0)	(40)	?	?
Деспина	23	52500	0,333	(0)	(0)	(90)	?	?
Галатея	23	62000	0,429	(0)	(0)	(75)	?	?
Ларисса	21	73600	0,554	(0)	(0)	(95)	?	?
Протей	20	117600	1,121	(0)	(0)	(200)	?	?
Тритон	13,6	354800	5,877	157	0,00	1,350	$2,14 \times 10^{25}$	2,07
Нереїда	18,7	5513400	360,16	29	0,75	(170)	?	?
Супутник Плутона								
Харон	16,8	19640	6,387	98,8	0,00	595	$1,77 \times 10^{24}$	2,0

Додаток 14. Основні характеристики найбільших астероїдів

Назва	Перигелій, а.о.	Афелій, а.о.	Діаметр, км	Маса, кг
Церера	2,5465	2,9842	$487,3 \pm 1.8$	$(9,43 \pm 0,07) \times 10^{20}$
Паллада	2,132	3,414	$582 \times 556 \times 500$	$2,06 \times 10^{20}$
Юнона	1,988	3,356	233,92	$2,82 \times 10^{19}$
Веста	2,151	2,571	$578 \times 560 \times 458$	$2,75 \times 10^{20}$
Астрея	2,573	2,076	$167 \times 123 \times 82$	$\sim 2,4 \times 10^{18}$
Геба	1,936	2,916	185,18	$1,37 \times 10^{19}$
Ірида	1,834	2,936	199,83	$1,79 \times 10^{19}$
Флора	1,855	2,547	135,89	$8,47 \times 10^{18}$
Метида	2,09	2,677	190	$2,05 \times 10^{19}$
Гігея	2,772	3,506	407,12	$9,03 \times 10^{19}$
Парфенопа	2,207	2,697	153,33	$5,092 \times 10^{18}$
Вікторія	1,821	2,849	112,77	-
Егерія	2,354	2,798	207,64	$1,63 \times 10^{19}$
Ірена	2,151	3,019	152	$8,21 \times 10^{18}$
Евномія	2,146	3,14	255,33	$3,34 \times 10^{19}$
Псіхея	2,515	3,327	253,16	$2,57 \times 10^{19}$
Фетида	2,14	2,8	90,04	$1,23 \times 10^{18}$
Мельпомена	1,793	2,799	140,57	$3,00 \times 10^{18}$
Фортуна	2,057	2,829	$225 \times 205 \times 195$	$1,08 \times 10^{19}$
Масілія	2,069	2,753	145,5	$4,49 \times 10^{18}$
Лютеція	2,435	2,041	95,76	$2,566 \times 10^{18}$
Каліопа	2,61637	3,20381	$235 \times 144 \times 124$	$(8,16 \pm 0,26) \times 10^{18}$
Талія	2,018	3,244	107,53	-
Феміда	2,72	3,54	198	$1,13 \times 10^{19}$
Фокея	1,8	3	75,13	-
Прозерпина	2,425	2,887	94,8	-
Евтерпа	1,941	2,753	96	-
Белона	2,369	3,193	120,9	-
Амфітрита	2,371	2,739	212,22	$1,17 \times 10^{19}$
Уранія	2,066	2,666	100,15	$\sim 1,04 \times 10^{18}$

Додаток 15. Прецесія за 100 років

За прямим піднесенням									За схиленням				
α δ	0 ^h 12 ^h	1 ^h 11 ^h	2 ^h 10 ^h	3 ^h 9 ^h	4 ^h 8 ^h	5 ^h 7 ^h	6 ^h		α		$\Delta\delta$	α	
	хв	хв	хв	хв	хв	хв	хв		год	хв		год	хв
80°	5	8	11	14	16	17	18	-80°	0	0	33'	24	0
75°	5	7	9	11	12	13	13	-75°	0	30	33	23	30
70°	5	7	8	9	10	11	11	-70°	1	0	32	23	0
60°	5	6	7	8	8	9	9	-60°	1	30	31	22	30
50°	5	6	6	7	7	8	8	-50°	2	0	29	22	0
40°	5	6	6	6	7	7	7	-40°	2	30	27	21	30
30°	5	5	6	6	6	6	6	-30°	3	0	24	21	0
20°	5	5	5	6	6	6	6	-20°	3	30	20	20	30
10°	&	5	5	5	5	6	6	-10°	4	0	17	20	0
0	5	5	5	5	5	5	5	0	4	30	13	19	30
-10°	5	5	5	5	5	5	5	10°	5	0	9	19	0
-20°	5	5	5	5	4	4	4	20°	6	0	0	18	0
-30°	5	5	4	4	4	4	4	30°	6	30	-4	17	30
-40°	5	5	4	4	4	3	3	40°	7	0	-9	17	0
-50°	5	4	4	3	3	3	2	50°	7	30	-13	16	30
-60°	5	4	3	2	2	1	1	60°	8	0	-17	16	0
-70°	5	4	2	1	0	-1	-1	70°	8	30	-20	15	30
-75°	5	3	1	-1	-2	-3	-3	75°	9	0	-24	15	0
-80°	5	2	-1	-4	-6	-7	-8	80°	9	30	-27	14	30
	12 ^h 24 ^h	13 ^h 23 ^h	14 ^h 22 ^h	15 ^h 21 ^h	16 ^h 20 ^h	17 ^h 19 ^h	18 ^h	δ α	10	0	-29	14	0
									10	30	-31	13	30
									11	0	-32	13	0
									11	30	-33	12	30
									12	0	-33	12	0

Додаток 16. Річна прецесія за прямим піднесенням P_α

δ α		-20 ⁰	-10 ⁰	0 ⁰	+100 ⁰	+20 ⁰	+30 ⁰	+40 ⁰	+50 ⁰	+60 ⁰
0 ^h 00 ^m	12 ^h 00 ^m	3,1 ^s	3,1 ^s	3,1 ^s	3,1 ^s	3,1 ^s	3,1 ^s	3,1 ^s	3,1 ^s	3,1 ^s
0 30	11 30	3,0	3,0	3,1	3,1	3,1	3,2	3,2	3,3	3,4
1 00	11 00	2,9	3,0	3,1	3,1	3,2	3,3	3,4	3,5	3,7
1 30	10 30	2,9	3,0	3,1	3,2	3,3	3,4	3,	3,7	4,0
2 00	10 00	2,8	3,0	3,1	3,2	3,3	3,5	3,6	3,9	4,2
2 30	9 30	2,8	2,9	3,1	3,2	3,4	3,5	3,8	4,0	4,5
3 00	9 00	2,7	2,9	3,1	3,2	3,4	3,6	3,9	4,2	4,7
3 30	8 30	2,7	2,9	3,1	3,3	3,4	3,7	4,0	4,3	4,
4 00	8 00	2,7	2,9	3,1	3,3	3,5	3,7	4,0	4,4	5,1
4 30	7 30	2,6	2,9	3,1	3,3	3,5	3,8	4,1	4,5	5,2
5 00	7 00	2,6	2,8	3,1	3,3	3,5	3,8	4,2	4,6	5,3
5 30	6 30	2,6	2,8	3,1	3,3	3,6	3,8	4,2	4,6	5,4
6 ^h 00 ^m		2,6	2,8	3,1	3,3	3,6	3,8	4,2	4,7	5,4
12 ^h 30 ^m	23 ^h 30 ^m	3,1	3,1	3,1	3,0	3,0	3,0	2,9	2,9	2,8
13 00	23 00	3,2	3,1	3,1	3,0	3,0	2,9	2,8	2,7	2,5
13 30	22 30	3,3	3,2	3,1	3,0	2,9	2,8	2,6	2,4	2,2
14 00	22 00	3,3	3,2	3,1	3,0	2,8	2,7	2,5	2,3	1,9
14 30	21 30	3,4	3,2	3,1	2,9	2,8	2,6	2,4	2,1	1,7
15 00	21 00	3,4	3,2	3,1	2,9	2,7	2,5	2,3	2,0	1,4
15 30	20 30	3,5	3,3	3,1	2,9	2,7	2,5	2,2	1,8	1,2
16 00	20 00	3,5	3,3	3,1	2,9	2,7	2,4	2,1	1,7	1,1
16 30	19 30	3,5	3,3	3,1	2,9	2,6	2,3	2,0	1,6	0,9
17 00	19 00	3,5	3,3	3,1	2,8	2,6	2,3	2,0	1,5	0,8
17 30	18 30	3,6	3,3	3,1	2,8	2,6	2,3	2,0	1,5	0,8
18 ^h 00 ^m		3,6	3,3	3,1	2,8	2,6	2,3	2,0	1,5	0,8

Додаток 17. Річна прецесія за схиленням P_{δ}

α	0^m	10^m	20^m	30^m	40^m	50^m
0^h	+20"	+20"	+20"	+20"	+20"	+20"
1	+19	+19	+19	+18	+18	+18
2	+17	+17	+16	+16	+15	+15
3	+14	+14	+13	+12	+12	+11
4	+10	+9	+8	+8	+7	+6
5	+5	+4	+4	+3	+2	+1
6	0	-1	-2	-3	-4	-4
7	-5	-6	-7	-8	-8	-9
8	-10	-11	-12	-12	-13	-14
9	-14	-15	-15	-16	-16	-17
10	-17	-18	-18	-18	-19	-19
11	-19	-20	-20	-20	-20	-20
12	-20	-20	-20	-20	-20	-20
13	-19	-19	-19	-19	-19	-19
14	-17	-17	-16	-16	-15	-15
15	-14	-14	-13	-12	-12	-11
16	-10	-9	-8	-8	-7	-6
17	-5	-4	-3	-3	-2	-1
18	0	+1	+2	+3	+4	+4
19	+5	+6	+7	+8	+8	+9
20	+10	+11	+11	+12	+13	+14
21	+14	+15	+15	+16	+16	+17
22	+17	+18	+18	+18	+19	+19
23	+19	+20	+20	+20	+20	+20

Додаток 18. Основні характеристики сузір'їв

Назва	Латинська назва	Абревіатура	Площа (кв. градуси)	Число зір яскравіших 6 ^м	Пряме піднесення	Схилання
Андромеда	Andromeda	And	722	100	1 ^h	+40°
Близнюки	Gemini	Gem	514	70	7	20
Велика Ведмедиця	Ursa Major	UMa	1280	125	11	50
Великий Пес	Canis Major	CMa	380	80	7	-20
Терези	Libra	Lib	538	50	15	15
Водолій	Aquarius	Aqr	980	90	23	-15
Візничий	Auriga	Aur	657	90	6	40
Вовк	Lupus	Lup	334	70	15	-45
Волопас	Bootes	Boo	907	90	15	30
Волосся Вероніки	Coma Berenices	Com	386	50	13	20
Ворона	Corvus	Crv	184	15	12	-20
Геркулес	Hercules	Her	1225	140	17	30
Гідра	Hydra	Hyd	1303	130	10	-20
Голуб	Columba	Col	270	40	6	-35
Гончі Пси	Canes Venatici	CVn	465	30	13	40
Діва	Virgo	Vir	1294	95	13	0
Дельфін	Delphinus	Del	189	30	21	10
Дракон	Draco	Dra	1083	80	17	65
Єдиноріг	Monoceros	Mon	482	85	7	-5
Жертовник	Ara	Ara	237	30	17	-55
Живописець	Pictor	Pic	247	30	6	-55
Жирафа	Camelopardalis	Cam	757	50	6	70
Журавель	Grus	Gru	366	30	22	-45
Заяць	Lepus	Lep	290	40	6	-20
Змієносець	Ophiuchus	Oph	948	100	17	0
Змія	Serpens	Ser	637	60	16	10
Золота Риба	Dorado	Dor	179	20	5	-65
Індієць	Indus	Ind	294	20	21	-55
Кассіопея	Cassiopeja	Cas	598	90	1	60
Кіль	Carina	Car	494	110	9	-60
Кит	Cetus	Cet	1231	100	2	-10
Козерог	Capricornus	Cap	414	50	21	-20
Компас	Pyxis	Pyx	221	25	9	-30
Корма	Puppis	Pup	673	140	8	-40
Лебідь	Cygnus	Cyg	804	150	21	40
Лев	Leo	Leo	947	70	11	15
Летюча Риба	Volans	Vol	141	20	8	-70
Ліра	Lyra	Lyr	286	45	19	40
Лисичка	Vulpecula	Vul	268	45	20	25
Мала Ведмедиця	Ursa Minor	UMi	256	20	15	70
Малий Кінь	Equuleus	Equ	72	10	21	10
Малий Лев	Leo Minor	LMi	232	20	10	35
Малий Пес	Canis Minor	CMi	183	20	8	5

Мікроскоп	Microscopium	Mic	210	20	21	-35
Муха	Musca	Mus	138	30	12	-70
Насос	Antlia	Ant	239	20	10	-35
Косинець	Norma	Nor	165	20	16	-50
Овен	Aries	Ari	441	50	3	20
Октант	Octans	Oct	291	35	22	-85
Орел	Aquila	Aql	652	70	20	5
Оріон	Orion	Ori	594	120	5	5
Павлін	Pavo	Pav	378	45	20	-65
Вітрило	Vela	Vel	500	110	9	-50
Пегас	Pegasus	Peg	1121	100	22	20
Персей	Perseus	Per	615	90	3	45
Піч	Fornax	For	398	35	3	-30
Райський Птах	Apus	Aps	206	20	16	-75
Рак	Cancer	Cnc	506	60	9	20
Різець	Caelum	Cae	125	10	5	-40
Риби	Pisces	Psc	889	75	1	15
Рись	Lynx	Lyn	545	60	8	45
Північна Корона	Corona Borealis	CrB	179	20	16	30
Секстант	Sextans	Sex	314	25	10	0
Сітка	Reticulum	Ret	114	15	4	-60
Скорпіон	Scorpius	Sco	497	100	17	-40
Скульптор	Sculptor	Scu	475	30	0	-30
Столова Гора	Mensa	Men	153	15	5	-80
Стріла	Sagitta	Sge	80	20	20	10
Стрілець	Sagittarius	Sgr	867	115	19	-25
Телескоп	Telescopium	Tel	252	30	19	-50
Телець	Taurus	Tau	797	125	4	15
Трикутник	Triangulum	Tri	132	15	2	30
Тукач	Tucana	Tuc	295	25	0	-65
Фенікс	Phoenix	Phe	469	40	1	-50
Хамелеон	Chamaeleon	Cha	132	20	11	-80
Центавр (Кентавр)	Centaurus	Cen	1,06	150	13	-50
Цефей	Cepheus	Cep	588	60	22	70
Циркуль	Circinus	Cir	93	20	15	-60
Годинник	Horologium	Hor	249	20	3	-60
Чаша	Crater	Crt	282	20	11	-15
Щит	Scutum	Sct	109	20	19	-10
Ерідан	Eridanus	Eri	1138	100	3	-20
Південна Гідра	Hydrus	Hyi	243	20	2	-75
Південна Корона	Corona Australis	CrA	128	25	19	-40
Південна Риба	Piscis Austrinus	PsA	245	25	22	-30
Південний Хрест	Crux	Cru	68	30	12	-60
Пд. Трикутник	Triangulum Aus.	TrA	110	20	16	-65
Ящірка	Lacerta	Lac	201	35	22	45

Додаток 19. Власні назви зір

В таблиці наведений список зір, що мають власні імена. Приводяться довідкові дані, такі як блиск m_v , спектральний клас, відстань r , небесні координати (пряме піднесення α і схилення δ на епоху 2000.0). Знак «?» означає відсутність даних або їх неточне значення.

Назва	Індекс	Сузір'я	m_v	Сп. клас	r , св. роки	α	δ
Авва	δ	Діва	3.4	M3	150	12 ^h 55 ^m 35.95 ^s	+03°23'00".00
Авоїр	ϵ	Кіль	1.9	K0	150	08 ^h 22 ^m 30.96 ^s	-59°29'59.93"
Адара	ϵ	В. Пес	1.5	B2	500	06 ^h 58 ^m 37.97 ^s	-28°58'00.07"
Адхафера	ζ	Лев	3.4	F0	120	10 ^h 16 ^m 41.98 ^s	+23°25'00.04"
Адхіл	ξ	Андромеда	4.9	K0	?	01 ^h 22 ^m 20.00 ^s	+45°30'59.91"
Азельфафага	π	Лебідь	4.7	B3	?	21 ^h 42 ^m 05.96 ^s	+51°11'00.11"
Азха	η	Ерідан	3.9	K1	100	02 ^h 56 ^m 25.00 ^s	-08°53'59.92"
Аін Аль Рамі	ν	Стрілець	4.8	K2	?	18 ^h 54 ^m 10.06 ^s	-22°45'00.01"
Айн	ϵ	Телець	3.5	K0	150	04 ^h 28 ^m 36.98 ^s	+19°11'00.02"
Акамар	θ	Ерідан	3	A3	120	02 ^h 58 ^m 18.00 ^s	-40°17'60.00"
Акраб	β	Скорпіон	2.5	B1	800	16 ^h 05 ^m 26.03 ^s	-19°48'00.02"
Акрукс	α	Пд. Хрест	0.8	B1	400	12 ^h 26 ^m 36.04 ^s	-63°06'00.21"
Акубенс	α	Рак	4.3	A5	150	08 ^h 58 ^m 29.04 ^s	+11°52'00.03"
Аладфар	η	Ліра	4.4	B2	?	19 ^h 13 ^m 44.94 ^s	+39°07'59.95"
Аламак	γ	Андромеда	2.2	K1	300	02 ^h 03 ^m 53.00 ^s	+42°20'00.08"
Алатфар	μ	Ліра	5.1	A3	?	18 ^h 24 ^m 14.04 ^s	+39°29'59.94"
Алголь	β	Персей	2.1	B8	90	03 ^h 08 ^m 11.00 ^s	+40°56'59.95"
Аліа	θ	Змія	4	A5	100	18 ^h 56 ^m 12.00 ^s	+04°12'00.00"
Аліот	ϵ	В. Ведмедиця	1.8	A0	80	12 ^h 54 ^m 02.03 ^s	+55°56'59.90"
Алкалуропс	μ	Волопас	4.2	F2	100	15 ^h 24 ^m 29.97 ^s	+37°23'00.07"
Алудра	η	В. Пес	2.4	B5	2500	07 ^h 24 ^m 05.01 ^s	-29°17'59.89"
Алула Аустраліс	ξ	В. Ведмедиця	3.8	G0	25.4	11 ^h 18 ^m 12.00 ^s	+31°31'48.00"
Алула Бореаліс	ν	В. Ведмедиця	3.5	K3	150	11 ^h 18 ^m 28.97 ^s	+33°04'59.94"
Аль Кальб Аль Рай	ρ	Цефей	5.5	A3	?	22 ^h 29 ^m 53.04 ^s	+78°50'00.01"
Аль Мінліар Асад	κ	Лев	4.5	K5	?	09 ^h 24 ^m 38.99 ^s	+26°11'00.04"
Аль Мінліар Шуя	σ	Гідра	4.4	K2	150	08 ^h 38 ^m 46.05 ^s	+03°20'60.00"
Аль Сциаукат	ζ_1	Рись	4.3	K5	200	08 ^h 22 ^m 49.94 ^s	+43°11'59.97"
Альбалдах	π	Стрілець	2.9	F2	300	19 ^h 09 ^m 45.95 ^s	-21°01'00.11"
Альбалі	ϵ	Водолій	3.8	A1	120	20 ^h 47 ^m 41.06 ^s	-09°30'00.08"
Альбірео	β	Лебідь	2.9	G8	400	19 ^h 30 ^m 43.07 ^s	+27°58'00.05"
Альгеніб	γ	Пегас	2.8	B2	500	00 ^h 13 ^m 14.00 ^s	+15°10'59.90"
Альгенубі	ϵ	Лев	3	G0	300	09 ^h 45 ^m 50.96 ^s	+23°46'00.02"
Альгієба	γ	Лев	2.1	K0	150	10 ^h 19 ^m 59.03 ^s	+19°51'00.03"
Альгієді	α_1	Козеріг	4.2	G3	1500	20 ^h 17 ^m 36.00 ^s	-12°30'36.00"

Альгораб	δ	Ворона	3	B9	120	12 ^h 29 ^m 51.03 ^s	-16°30'59.95"
Альдебаран	α	Телець	0.9	K5	65.2	04 ^h 35 ^m 54.95 ^s	+16°29'59.93"
Альдерамін	α	Цефей	2.4	A7	51	21 ^h 18 ^m 34.97 ^s	+62°35'00.23"
Альджабах	η	Лев	3.5	A0	2000	10 ^h 07 ^m 19.98 ^s	+16°46'00.04"
Альдибаїн	η	Дракон	2.7	G8	73.4	16 ^h 23 ^m 59.04 ^s	+61°29'59.95"
Альзір	ξ	Близнюки	3.4	F5	61	06 ^h 45 ^m 18.07 ^s	+12°53'59.98"
Алькес	α	Наша	4.1	K0	120	10 ^h 59 ^m 46.07 ^s	-18°17'59.90"
Алькор	80	В. Ведмедиця	4	A5	70	13 ^h 25 ^m 12.99 ^s	+54°59'59.98"
Альметаллах	α	Трикутник	3.4	F6	65.2	01 ^h 53 ^m 05.00 ^s	+29°35'00.02"
Альнаір	α	Журавель	1.7	B6	67.5	22 ^h 08 ^m 13.98 ^s	-46°58'00.06"
Альнасл	γ	Стрілець	3	K0	120	18 ^h 05 ^m 48.05 ^s	-30°26'00.13"
Альнілам	ε	Оріон	1.7	B0	1500	05 ^h 36 ^m 12.01 ^s	-01°11'60.00"
Альнітак	ζ	Оріон	1.8	O9	1500	05 ^h 40 ^m 48.00 ^s	-01°56'24.00"
Альніят	σ	Скорпіон	2.9	B1	600	16 ^h 21 ^m 11.96 ^s	-25°34'59.91"
Альрай	γ	Цефей	3.2	K1	50.2	23 ^h 39 ^m 20.00 ^s	+77°37'00.29"
Альсафі	σ	Дракон	4.7	K0	18.5	19 ^h 32 ^m 20.97 ^s	+69°39'00.11"
Альтаір	α	Орел	0.8	A7	16.5	19 ^h 50 ^m 46.97 ^s	+08°52'00.09"
Альтайс	δ	Дракон	3.1	G9	120	19 ^h 12 ^m 33.03 ^s	+67°40'00.11"
Альтарф	β	Рак	3.5	K4	200	08 ^h 16 ^m 30.96 ^s	+09°11'59.96"
Альтерф	λ	Лев	4.3	K5	250	09 ^h 31 ^m 42.94 ^s	+22°58'59.92"
Альфард	α	Гідра	2	K3	90	09 ^h 27 ^m 35.01 ^s	-08°40'00.06"
Альферац	α	Андромеда	2	B9	90	00 ^h 08 ^m 23.00 ^s	+29°04'59.96"
Альферг	η	Риб	3.6	G8	150	01 ^h 31 ^m 29.00 ^s	+15°21'00.07"
Альфірк	β	Цефей	3.2	B1	800	21 ^h 28 ^m 39.05 ^s	+70°32'59.73"
Альхека	λ	Оріон	3.4	O8	1500	05 ^h 35 ^m 06.00 ^s	+09°55'48.00"
Аль-Хекка	ζ	Телець	3	B3	500	05 ^h 37 ^m 39.05 ^s	+21°09'00.04"
Альхена	γ	Близнюки	1.9	A0	90	06 ^h 37 ^m 43.05 ^s	+16°23'59.90"
Альціона	η	Телець	2.8	B7	400	03 ^h 47 ^m 29.00 ^s	+24°07'00.01"
Альшайн	β	Орел	3.7	G8	46.6	19 ^h 55 ^m 18.96 ^s	+06°24'00.01"
Альшат	ν	Козеріг	4.8	B9	?	20 ^h 20 ^m 39.96 ^s	-12°44'59.91"
Альшиба	α	Ворона	4	F2	48.7	12 ^h 08 ^m 24.07 ^s	-24°42'59.92"
Алякраб	ω ₂	Скорпіон	4.3	G2	?	16 ^h 07 ^m 24.02 ^s	-20°51'59.90"
Ангетенар	τ ₂	Ерідан	4.8	K0	?	02 ^h 51 ^m 02.00 ^s	-21°00'00.01"
Анкаа	α	Фенікс	2.4	K0	80	00 ^h 26 ^m 17.00 ^s	-42°18'00.14"
Ансер	α	VUL	4.4	M0	300	19 ^h 28 ^m 43.02 ^s	+24°39'59.90"
Антарес	α	Скорпіон	0.9	M0	500	16 ^h 29 ^m 25.07 ^s	-26°25'59.95"
Анха	θ	Водолій	4.2	G8	?	22 ^h 16 ^m 48.96 ^s	-07°46'59.92"
Аркаб Постеріор	β ₂	Стрілець	4.3	F0	?	19 ^h 23 ^m 13.00 ^s	-44°47'59.94"
Аркаб Пріор	β	Стрілець	4	B8	?	19 ^h 22 ^m 38.07 ^s	-44°27'59.94"
Арктур	α	Волопас	0	K2	35.5	14 ^h 15 ^m 40.00 ^s	+19°11'00.02"
Арм	η	Козеріг	4.8	A3	65.2	21 ^h 04 ^m 24.06 ^s	-19°51'00.03"
Арнеб	α	Засць	2.6	F0	1000	05 ^h 32 ^m 43.96 ^s	-17°49'59.96"
Аракіс	μ	Дракон	4.9	F7	80	17 ^h 05 ^m 18.00 ^s	+54°28'12.00"
Аселлус Примус	θ	Волопас	4.1	F7	48	14 ^h 25 ^m 12.00 ^s	+51°51'00.00"
Аселлус Секондус	ι	Волопас	4.7	A8	100	14 ^h 16 ^m 09.01 ^s	+51°21'59.87"
Аселлус Терціус	κ	Волопас	4.4	A7	150	14 ^h 13 ^m 28.95 ^s	+51°47'00.01"
Аскрепієн	δ	Пд. Корона	4.6	K1	200	19 ^h 08 ^m 20.01 ^s	-40°29'59.99"

Асмідіске	ξ	Корма	3.2	G3	800	07 ^h 49 ^m 17.07 ^c	-24°51'59.99"
Астеропа	21	Телець	5.8	B8	?	03 ^h 45 ^m 55.01 ^c	+24°34'00.06"
Асцелла	ζ	Стрілець	2.6	A2	100	19 ^h 02 ^m 37.06 ^c	-29°51'59.92"
Атік	ο	Персей	3.8	B1	1000	03 ^h 44 ^m 19.00 ^c	+32°16'59.89"
Атлас	27	Телець	3.6	B8	400	03 ^h 49 ^m 10.00 ^c	+24°03'00.07"
Атрия	α	Пд. Трикутник	1.9	K2	100	16 ^h 48 ^m 40.02 ^c	-69°02'00.14"
Ахернар	α	Ерідан	0.5	B4	90	01 ^h 37 ^m 42.00 ^c	-57°14'60.00"
Ахірд	η	Кассіопея	3.4	G0	19.2	00 ^h 49 ^m 06.00 ^c	+57°48'59.95"
Альфекка Мерідіана	α	Пд. Корона	4.1	A2	100	19 ^h 09 ^m 28.08 ^c	-37°55'00.08"
Багам	θ	Персей	4.1	F7	41.3	02 ^h 44 ^m 12.00 ^c	+49°12'36.00"
Батен Кайтос	ζ	Кит	3.7	K1	200	01 ^h 51 ^m 27.00 ^c	-10°20'00.09"
Бахам	θ	Пегас	3.5	A2	80	22 ^h 10 ^m 12.00 ^c	+06°12'00.00"
Бейд	ο ₁	Ерідан	4	F2	200	04 ^h 11 ^m 54.00 ^c	-06°50'24.00"
Беллатрікс	γ	Оріон	1.6	B2	400	05 ^h 25 ^m 07.98 ^c	+06°21'00.07"
Бенетнаш	η	В. Ведмедиця	1.9	B3	120	13 ^h 47 ^m 32.06 ^c	+49°19'00.00"
Бетельгейзе	α	Оріон	0.4	M2	400	05 ^h 55 ^m 10.04 ^c	+07°24'00.08"
Бос	ρ	Козеріг	4.6	F5	77.3	20 ^h 28 ^m 51.01 ^c	-17°48'59.94"
Ботейн	δ	Овен	4.4	K2	?	03 ^h 11 ^m 38.00 ^c	+19°44'00.02"
Брахіум	σ	Терези	3.3	M4	80.7	15 ^h 04 ^m 04.07 ^c	-25°17'00.03"
Васат	δ	Близнюки	3.5	F2	53.5	07 ^h 20 ^m 06.98 ^c	+21°59'00.03"
Vega	α	Ліра	0	A0	26.3	18 ^h 36 ^m 55.99 ^c	+38°46'59.98"
Везен	δ	В. Пес	1.8	F8	3000	07 ^h 08 ^m 24.03 ^c	-26°23'59.96"
Вей	ε	Скорпіон	2.3	K2	58.3	16 ^h 50 ^m 09.95 ^c	-34°17'59.99"
Віндеміатрікс	ε	Діва	2.8	G9	100	13 ^h 02 ^m 11.02 ^c	+10°58'00.03"
Гакрукс	γ	Пд. Хрест	1.6	M3	120	12 ^h 31 ^m 09.96 ^c	-57°07'00.06"
Гемма	α	Пн. Корона	2.3	A0	80	15 ^h 34 ^m 41.06 ^c	+26°43'00.03"
Гадум II	δ ₁	Телець	3.8	K0	150	04 ^h 22 ^m 54.00 ^c	+17°32'24.00"
Голова Стрільця	ξ ₂	Стрілець	3.5	K1	150	18 ^h 57 ^m 44.03 ^c	-21°06'00.04"
Гомейза	β	М. Пес	2.9	B8	150	07 ^h 27 ^m 09.00 ^c	+08°16'59.93"
Горгоней Кварта	ω	Персей	4.6	K1	?	03 ^h 11 ^m 17.00 ^c	+39°36'59.97"
Горгоней Терція	ρ	Персей	3.3	M4	200	03 ^h 05 ^m 11.00 ^c	+38°49'59.97"
Графіас I	η	Скорпіон	3.3	F2	55.9	17 ^h 12 ^m 08.95 ^c	-43°13'59.98"
Графіас II	ζ ₂	Скорпіон	3.6	K5	150	16 ^h 54 ^m 36.00 ^c	-42°21'36.00"
Графіас III	ξ	Скорпіон	4.1	F6	80	16 ^h 04 ^m 24.00 ^c	-11°22'12.00"
Грумійум	ξ	Дракон	3.8	K2	200	17 ^h 53 ^m 31.96 ^c	+56°52'00.05"
Гуазар	λ	Дракон	3.8	M0	200	11 ^h 31 ^m 23.98 ^c	+69°20'00.28"
Дабех	β	Козеріг	3	F7	100	20 ^h 21 ^m 01.00 ^c	-14°47'00.10"
Денеб II	ζ	Орел	3	B9	100	19 ^h 05 ^m 24.96 ^c	+13°51'59.94"
Денеб Альгеді	δ	Козерог	2.8	A9	47.3	21 ^h 47 ^m 02.02 ^c	-16°08'00.09"
Денеб Альгенубі	η	Кит	3.5	K2	120	01 ^h 08 ^m 36.00 ^c	-10°10'59.91"
Денеб Кайтос	β	Кит	2	K0	57.8	00 ^h 43 ^m 35.00 ^c	-17°58'59.93"
Денеб Окаб	δ	Орел	3.4	F1	46.6	19 ^h 25 ^m 28.99 ^c	+03°07'00.01"
Денеб Ель Дельфіні	ε	Дельфін	4	B6	500	20 ^h 33 ^m 12.96 ^c	+11°17'59.97"
Денеб	α	Лебідь	1.3	A2	2000	20 ^h 41 ^m 26.07 ^c	+45°15'59.96"
Денебола	β	Лев	2.1	A3	42.9	11 ^h 49 ^m 04.04 ^c	+14°33'59.93"
Джаббах	ν	Скорпіон	3.9	B3	600	16 ^h 11 ^m 60.00 ^c	-19°27'36.00"
Джабхат	ω ₁	Скорпіон	4	B1	800	16 ^h 06 ^m 48.00 ^c	-20°40'12.00"
Джанах	γ	Ворона	2.6	B8	200	12 ^h 15 ^m 49.06 ^c	-17°32'00.09"
Дженах II	ε	Лебідь	2.5	K0	71.7	20 ^h 46 ^m 13.05 ^c	+33°58'00.13"

Джубба	δ	Скорпіон	2.3	B0	800	16 ^h 00 ^m 20.07 ^s	-22°37'00.03"
Дзибан	ψ	Дракон	4.3	F6	69.4	17 ^h 41 ^m 54.00 ^s	+72°09'00.00"
Діадема	α	В. Вероніки	4.3	F5	61.5	13 ^h 09 ^m 58.96 ^s	+17°30'59.95"
Дірах	ν	Близнюки	4.1	B7	300	06 ^h 28 ^m 58.04 ^s	+20°12'59.96"
Дорсум	θ	Козеріг	4.1	A1	150	21 ^h 05 ^m 54.00 ^s	-17°13'48.00"
Дубхе	α	В. Ведме́диця	1.8	K0	80	11 ^h 03 ^m 43.96 ^s	+61°45'00.11"
Завіджава	β	Діва	3.6	F8	32.6	11 ^h 50 ^m 41.95 ^s	+01°46'00.01"
Заніах	η	Діва	3.9	A2	150	12 ^h 19 ^m 53.96 ^s	+00°40'00.01"
Заурак	γ	Ерідан	3	M0	150	03 ^h 58 ^m 02.05 ^s	-13°30'59.96"
Зібаль	ζ	Ерідан	4.8	A0	?	03 ^h 15 ^m 50.00 ^s	-08°48'59.94"
Зубен Хакрабі	ν	Терези	3.6	K4	120	15 ^h 37 ^m 01.05 ^s	-28°07'60.00"
Зубен Ельгенубі	α	Терези	2.6	A4	59.4	14 ^h 50 ^m 41.01 ^s	-15°59'59.92"
Зубен Ельшемалі	β	Терези	2.6	B8	120	15 ^h 17 ^m 00.04 ^s	-09°23'00.01"
Зубен Елякрабі	γ	Терези	3.9	G8	80	15 ^h 35 ^m 31.94 ^s	-14°47'00.10"
Зубен Елякрібі	δ	Терези	4.9	A0	250	15 ^h 00 ^m 58.98 ^s	-08°30'59.98"
Ісида	μ	В. Пес	5	G3	500	06 ^h 56 ^m 06.98 ^s	-14°03'00.10"
Іцар	ε	Волопас	2.4	G9	150	14 ^h 45 ^m 00.00 ^s	+27°04'12.00"
Йед Постеріор	ε	Змієносець	3.2	G9	100	16 ^h 18 ^m 18.98 ^s	-04°41'60.00"
Йед Пріор	δ	Змієносець	2.7	M1	150	16 ^h 14 ^m 19.98 ^s	-03°40'60.00"
Йільдун	δ	М. Ведме́диця	4.4	A1	150	17 ^h 32 ^m 11.06 ^s	+86°35'01.61"
Кайтайн	α	Риби	3.8	A1	150	02 ^h 02 ^m 02.00 ^s	+02°46'00.00"
Кайам	ω	Геркулес	4.6	A?	?	16 ^h 25 ^m 24.98 ^s	+14°01'59.93"
Канопус	α	Кіль	0.7	F0	150	06 ^h 23 ^m 57.03 ^s	-52°40'59.94"
Капелла	α	Візничий	0.1	G5	43.5	05 ^h 16 ^m 40.98 ^s	+46°00'00.06"
Кастор	α	Близнюки	1.6	A1	47.3	07 ^h 34 ^m 36.05 ^s	+31°52'59.91"
Кастра	ε	Козеріг	4.7	B3	?	21 ^h 37 ^m 04.95 ^s	-19°27'59.91"
Каус Аустраліс	ε	Стрілець	1.8	B9	100	18 ^h 24 ^m 10.06 ^s	-34°23'00.01"
Каус Бореаліс	λ	Стрілець	2.8	K2	69.7	18 ^h 27 ^m 58.05 ^s	-25°26'00.09"
Каус Меридіаналіс	δ	Стрілець	2.7	K2	74.2	18 ^h 21 ^m 00.02 ^s	-29°48'59.91"
Каф	β	Кассіопея	2.3	F2	49.4	00 ^h 09 ^m 10.00 ^s	+59°09'00.11"
Каффальджидхма	γ	Кит	3.5	A3	70.9	02 ^h 43 ^m 18.00 ^s	+03°14'00.01"
Кейд	ο ₂	Ерідан	4.4	K1	15.9	04 ^h 15 ^m 15.99 ^s	-07°40'00.08"
Кітальфа	α	М. Кінь	3.9	G0	150	21 ^h 15 ^m 49.96 ^s	+05°14'60.00"
Кокса	θ	Лев	3.3	A2	80	11 ^h 14 ^m 12.00 ^s	+15°25'48.00"
Кохаб	β	М. Ведме́диця	2.1	K4	100	14 ^h 50 ^m 43.07 ^s	+74°08'59.99"
Краз	β	Ворона	2.7	G5	300	12 ^h 34 ^m 23.02 ^s	-23°24'00.02"
Кума	ν	Дракон	4.1	A5	120	17 ^h 32 ^m 09.96 ^s	+55°10'59.94"
Курдах	ξ	Цефей	4.3	A5	120	22 ^h 03 ^m 48.04 ^s	+64°36'59.99"
Курса	β	Ерідан	2.8	A3	90	05 ^h 07 ^m 51.01 ^s	-05°05'00.01"
Кхамбалія	λ	Діва	4.5	A?	?	14 ^h 19 ^m 06.95 ^s	-13°23'00.02"
Лабр	δ	Чаша	3.6	G8	90	11 ^h 19 ^m 19.99 ^s	-14°45'59.95"
Лезат	ν	Скорпіон	2.7	B2	600	17 ^h 30 ^m 46.08 ^s	-37°17'59.90"
Маасим	λ	Геркулес	4.4	K4	?	17 ^h 30 ^m 44.01 ^s	+26°05'59.96"
Майя	20	Телець	3.9	B7	400	03 ^h 45 ^m 49.00 ^s	+24°22'00.10"
Манубріум	ο	Стрілець	3.8	G8	120	19 ^h 04 ^m 39.99 ^s	-21°43'59.95"
Маркаб	α	Пегас	2.5	B9	100	23 ^h 04 ^m 46.08 ^s	+15°11'59.96"
Маркеб I	κ	Вітрила	2.5	B2	400	09 ^h 22 ^m 07.05 ^s	-55°01'00.05"
Маркеб II	γ	Гідра	3	G6	100	13 ^h 18 ^m 54.98 ^s	-23°11'00.11"
Маркеб III	κ	Корма	3.8	B6	400	07 ^h 38 ^m 48.00 ^s	-26°48'00.00"

Марфик I	θ	Кассіопея	4.3	A7	?	01 ^h 11 ^m 07.00 ^c	+55°09'00.05"
Марфик II	λ	Змієносець	3.8	A2	150	16 ^h 30 ^m 55.01 ^c	+01°59'00.00"
Матар	η	Пегас	2.9	G2	200	22 ^h 43 ^m 00.01 ^c	+30°12'59.92"
Мебсута	ε	Близнюки	3	G8	600	06 ^h 43 ^m 55.98 ^c	+25°07'59.96"
Мегрец	δ	В. Ведмедиця	3.3	A3	61.5	12 ^h 15 ^m 25.95 ^c	+57°01'59.89"
Мезартім	γ	Овен	3.9	A0	150	01 ^h 53 ^m 31.00 ^c	+19°17'00.04"
Мекбуда	ζ	Близнюки	3.7	G0	1500	07 ^h 04 ^m 07.03 ^c	+20°33'60.00"
Менкалінан	β	Візничий	1.9	A2	70	05 ^h 59 ^m 32.00 ^c	+44°57'00.16"
Менкар	α	Кит	2.5	M2	150	03 ^h 02 ^m 17.00 ^c	+04°05'59.99"
Менкент	θ	Центавр	2.1	K0	49.9	14 ^h 06 ^m 42.00 ^c	-36°22'12.00"
Менкіб	ξ	Персей	4	O7	1500	03 ^h 58 ^m 57.05 ^c	+35°47'00.07"
Менкхіб	ζ	Персей	2.9	B1	1200	03 ^h 54 ^m 08.01 ^c	+31°52'59.91"
Мерак	β	В. Ведмедиця	2.4	A1	60	11 ^h 01 ^m 51.06 ^c	+56°22'59.91"
Мерга	38	Волопас	5.7	F5	?	14 ^h 49 ^m 19.06 ^c	+46°07'00.06"
Меропа	23	Телець	4.2	B6	400	03 ^h 46 ^m 19.00 ^c	+23°56'59.94"
Міаплакідус	β	Кіль	1.7	A1	67.8	09 ^h 13 ^m 12.00 ^c	-69°43'00.11"
Мімоза	β	Пд. Хрест	1.3	B0	400	12 ^h 47 ^m 44.02 ^c	-59°42'00.18"
Мінкар	ε	Ворон	3	K2	100	12 ^h 10 ^m 08.03 ^c	-22°37'00.03"
Мінтака	δ	Оріон	2.2	O9	1500	05 ^h 32 ^m 01.05 ^c	+00°17'60.00"
Міра	ο	Кит	2	M7	100	02 ^h 19 ^m 21.00 ^c	-02°59'00.01"
Мірам	η	Персей	3.8	K7	800	02 ^h 50 ^m 42.00 ^c	+55°53'59.88"
Мірах	β	Андромеда	2.1	M0	78.1	01 ^h 09 ^m 44.00 ^c	+35°36'59.88"
Мірфак	α	Персей	1.8	F5	600	03 ^h 24 ^m 20.00 ^c	+49°50'60.00"
Мірцам	β	В. Пес	2	B1	733	06 ^h 22 ^m 41.95 ^c	-17°57'00.02"
Місам	κ	Персей	3.8	K0	150	03 ^h 09 ^m 30.00 ^c	+44°51'59.90"
Міфрід	η	Волопас	2.7	G0	32	13 ^h 54 ^m 40.96 ^c	+18°23'59.99"
Мицар	ζ	В. Ведмедиця	2.1	A2	70	13 ^h 23 ^m 54.00 ^c	+54°55'48.00"
Муліфейн	γ	В. Пес	4.1	B8	1000	07 ^h 03 ^m 45.03 ^c	-15°37'59.97"
Мусцида II	ο	В. Ведмедиця	3.3	G5	200	08 ^h 30 ^m 16.02 ^c	+60°43'00.17"
Мусцида	π ₂	В. Ведмедиця	4.6	K2	?	08 ^h 40 ^m 12.95 ^c	+64°19'59.92"
Наві	γ	Кассіопея	1.6	B0	800	00 ^h 56 ^m 41.99 ^c	+60°43'00.17"
Наос	ζ	Корма	2.3	O5	2000	08 ^h 03 ^m 35.00 ^c	-40°00'00.11"
Нашира	γ	Козеріг	3.7	F0	100	21 ^h 40 ^m 04.95 ^c	-16°39'59.95"
Неккар	β	Волопас	3.5	G8	150	15 ^h 01 ^m 57.01 ^c	+40°22'59.90"
Нігаль	β	Заєць	2.8	G4	300	05 ^h 28 ^m 14.99 ^c	-20°44'59.99"
Нодус I	ζ	Дракон	3.2	B6	300	17 ^h 08 ^m 48.04 ^c	+65°43'00.03"
Нунки	σ	Стрілець	2	B3	200	18 ^h 55 ^m 16.06 ^c	-26°17'59.96"
Нусакан	β	Пн. Корона	3.7	A9	120	15 ^h 27 ^m 48.95 ^c	+29°05'59.91"
Окулус	π	Козеріг	5.3	B9	?	20 ^h 27 ^m 19.01 ^c	-18°12'00.02"
Пікок	α	Павлін	1.9	B3	250	20 ^h 25 ^m 38.08 ^c	-56°44'00.14"
Плейона	28	Телець	5.1	O?	?	03 ^h 49 ^m 10.99 ^c	+24°07'59.90"
Поліс	μ	Стрілець	3.8	B8	4000	18 ^h 13 ^m 46.04 ^c	-21°03'00.11"
Поллукс	β	Близнюки	1.1	K0	35.1	07 ^h 45 ^m 19.04 ^c	+28°00'59.91"
Полярна	α	М. Ведмедиця	2	F8	800	02 ^h 31 ^m 13.00 ^c	+89°14'54.84"
Порріма	γ	Діва	2.8	F0	32.9	12 ^h 41 ^m 42.00 ^c	-01°26'60.00"
Презепа	ι	Рак	3.9	G8	300	08 ^h 46 ^m 41.97 ^c	+28°46'00.05"
Преціпуа	46	М. Лев	3.8	K?	?	10 ^h 53 ^m 18.01 ^c	+34°13'00.01"
Прима Гіадум	γ	Телець	3.6	K0	150	04 ^h 19 ^m 47.98 ^c	+15°37'00.00"
Принцепс	δ	Волопас	3.5	G8	150	15 ^h 15 ^m 29.97 ^c	+33°19'00.02"
Проціон	α	М. Пес	0.4	F5	11.4	07 ^h 39 ^m 17.94 ^c	+05°14'00.01"
Рана	δ	Ерідан	3.5	K0	29.4	03 ^h 43 ^m 14.00 ^c	-09°45'59.96"
Рас Альгеті	α	Геркулес	2.9	M2	600	17 ^h 14 ^m 38.97 ^c	+14°22'59.97"

Расальхаг	α	Зміносець	2.1	A5	54.4	17 ^h 34 ^m 56.07 ^c	+12°33'59.91"
Расаляс	μ	Лев	3.9	K2	200	09 ^h 52 ^m 45.97 ^c	+26°01'00.10"
Растабан	β	Дракон	2.8	G2	250	17 ^h 30 ^m 26.00 ^c	+52°18'59.87"
Регул	α	Лев	1.4	B7	80	10 ^h 08 ^m 22.00 ^c	+11°58'00.09"
Рігель	β	Оріон	0.1	B8	1000	05 ^h 14 ^m 31.99 ^c	-08°12'00.01"
Ріль Аль Авва	μ	Діва	3.9	F3	100	14 ^h 43 ^m 02.97 ^c	-05°39'00.01"
Ротанев	β	Дельфін	3.6	F5	80	20 ^h 37 ^m 32.99 ^c	+14°35'59.92"
Рукбат	α	Стрілець	4	B8	120	19 ^h 23 ^m 53.98 ^c	-40°36'59.99"
Рукбах	ε	Кассіопея	3.4	B3	500	01 ^h 54 ^m 24.00 ^c	+63°41'00.23"
Рутікулус	β	Геркулес	2.8	G8	100	16 ^h 30 ^m 13.06 ^c	+21°29'00.10"
Рухба	ω ₂	Лебідь	5.1	K2	500	20 ^h 31 ^m 18.97 ^c	+49°12'59.97"
Рушба	δ	Кассіопея	2.7	A5	85.2	01 ^h 25 ^m 49.00 ^c	+60°14'00.24"
Сабік	η	Зміносець	2.4	A2	65.3	17 ^h 10 ^m 23.06 ^c	-15°42'59.90"
Садаланбія	γ	Водолій	3.8	A0	100	22 ^h 21 ^m 38.97 ^c	-01°23'00.01"
Садальсууд	β	Водолій	2.9	G0	1000	21 ^h 31 ^m 33.96 ^c	-05°35'00.00"
Садальбари	μ	Пегас	3.5	G9	120	22 ^h 50 ^m 01.06 ^c	+24°36'00.05"
Садальмелік	α	Водолій	3	G2	1000	22 ^h 05 ^m 46.99 ^c	+00°19'00.00"
Садр	γ	Лебідь	2.2	F8	800	20 ^h 22 ^m 13.05 ^c	+40°15'00.01"
Саіф	κ	Оріон	2.1	B0	1500	05 ^h 47 ^m 46.02 ^c	-09°40'00.02"
Сальма	τ	Пегас	4.6	A5	?	23 ^h 20 ^m 38.06 ^c	+23°45'00.07"
Саргас	θ	Скорпіон	1.9	F0	300	17 ^h 37 ^m 18.00 ^c	-43°00'00.00"
Сарін	δ	Геркулес	3.1	A3	90	17 ^h 15 ^m 02.07 ^c	+24°49'59.97"
Північний Ослик	γ	Рак	4.7	A1	150	08 ^h 43 ^m 16.94 ^c	+21°28'00.03"
Сегін	γ	Волопас	3	A7	100	14 ^h 32 ^m 04.98 ^c	+38°18'59.92"
Серце Карла	α	Гончі Пси	2.8	A1	120	12 ^h 56 ^m 00.98 ^c	+38°18'59.92"
Сіністра	ν	Зміносець	3.3	K0	150	17 ^h 59 ^m 01.02 ^c	-09°47'00.03"
Сиріус	α	В. Пес	1.5	A1	8.7	06 ^h 45 ^m 08.99 ^c	-16°42'59.97"
Сірма	ι	Діва	4.1	F6	?	14 ^h 16 ^m 01.04 ^c	-05°59'59.90"
Сітула	κ	Водолій	5	K2	?	22 ^h 37 ^m 46.07 ^c	-04°14'00.00"
Скат	δ	Водолій	3.3	A3	100	22 ^h 54 ^m 38.97 ^c	-15°48'59.97"
Скіп	53	Ерідан	3.9	K2	150	04 ^h 38 ^m 10.95 ^c	-14°17'60.00"
Спіка	α	Діва	1	B1	300	13 ^h 25 ^m 11.07 ^c	-11°08'59.95"
Суалокін	α	Дельфін	3.8	B9	200	20 ^h 39 ^m 38.95 ^c	+15°55'00.01"
Субра	ο	Лев	3.5	A5	70	09 ^h 41 ^m 09.07 ^c	+09°53'59.98"
Сулафат	γ	Ліра	3.2	B9	200	18 ^h 58 ^m 55.94 ^c	+32°41'00.12"
Сухейль Ель Вазн	λ	Вітрила	2.2	K5	500	09 ^h 07 ^m 59.99 ^c	-43°25'59.97"
Сухейль Ель Мугліф	γ	Вітрила	1.5	O7	1500	08 ^h 09 ^m 31.97 ^c	-47°20'59.96"
Табіт	π ₃	Оріон	3.2	F6	25.1	04 ^h 49 ^m 51.01 ^c	+06°56'59.97"
Тайгета	19	Телець	4.3	B6	400	03 ^h 45 ^m 12.01 ^c	+24°28'00.05"
Таліта Аустраліс	κ	В. Ведмедиця	3.6	A0	120	09 ^h 03 ^m 37.07 ^c	+47°09'00.10"
Таліта Бореаліс	ι	В. Ведмедиця	3.1	A7	49.4	08 ^h 59 ^m 13.05 ^c	+48°02'00.00"
Танія Аустраліс	μ	В. Ведмедиця	3.1	M0	150	10 ^h 22 ^m 19.02 ^c	+41°29'59.99"
Танія Бореаліс	λ	В. Ведмедиця	3.5	A2	120	10 ^h 17 ^m 06.05 ^c	+42°55'00.02"
Таразед	γ	Орел	2.7	K3	300	19 ^h 46 ^m 14.97 ^c	+10°36'59.94"
Тегмен	ζ	Рак	4.7	G0	70	08 ^h 12 ^m 12.00 ^c	+17°38'60.00"
Теенім	υ ₂	Ерідан	3.8	G9	200	04 ^h 35 ^m 32.95 ^c	-30°34'00.10"
Теребеллум	ω	Стрілець	4.7	G5	53.5	19 ^h 55 ^m 50.04 ^c	-26°17'59.96"
Тят Постеріор	μ	Близнюки	2.9	M3	150	06 ^h 22 ^m 58.04 ^c	+22°30'59.96"
Тят Пріор	η	Близнюки	3.3	M3	200	06 ^h 14 ^m 51.94 ^c	+22°29'59.90"
Тіль	ε	Дракон	3.8	G7	150	19 ^h 48 ^m 10.07 ^c	+70°15'59.83"
Толіман	α	Центавр	0.3	G4	4.4	14 ^h 39 ^m 36.01 ^c	-60°50'00.10"

Торкуларіс	ο	Риби	4.3	G9	200	01 ^h 45 ^m 24.00 ^c	+09°09'00.07"
Трапеція Оріона	θ	Оріон	4	O8	1500	05 ^h 35 ^m 18.00 ^c	-05°24'00.00"
Тубан	α	Дракон	3.7	A0	200	14 ^h 04 ^m 24.00 ^c	+64°22'00.00"
Турейс	ι	Кіль	2.3	A9	800	09 ^h 17 ^m 06.04 ^c	-59°15'59.96"
Унук Ельхайа	α	Змія	2.7	K2	66.6	15 ^h 44 ^m 16.95 ^c	+06°24'60.00"
Факт	α	Голуб	2.6	B7	150	05 ^h 39 ^m 38.96 ^c	-34°04'59.98"
Фекда	γ	В. Ведмедиця	2.4	A0	70	11 ^h 53 ^m 48.96 ^c	+53°41'59.90"
Феркад Мінор		М. Ведмедиця	5	K4	?	15 ^h 17 ^m 05.95 ^c	+71°49'00.09"
Феркад	γ	М. Ведмедиця	3.1	A3	200	15 ^h 20 ^m 44.04 ^c	+71°50'00.26"
Фомальгаут	α	Пд. Риба	1.2	A3	21.9	22 ^h 57 ^m 38.97 ^c	-29°37'00.05"
Форамен	η	Кіль	1	B?	?	10 ^h 45 ^m 03.94 ^c	-59°42'00.18"
Фум Ель Самакан	β	Риби	4.5	B6	300	23 ^h 03 ^m 52.04 ^c	+03°49'00.01"
Фуруд	ζ	В. Пес	3	B3	300	06 ^h 20 ^m 17.98 ^c	-30°03'59.92"
Хадар	β	Центавр	0.6	B1	300	14 ^h 03 ^m 50.03 ^c	-60°21'59.83"
Хамаль	α	Овен	2	K2	68.4	02 ^h 07 ^m 10.00 ^c	+23°27'00.08"
Хан	ζ	Змієносець	2.6	O9	600	16 ^h 37 ^m 09.03 ^c	-10°33'59.90"
Хара	β	Гоні Пси	4.3	G0	29.9	12 ^h 33 ^m 45.07 ^c	+41°20'59.99"
Хассалех	ι	Візничий	2.7	K3	250	04 ^h 57 ^m 00.04 ^c	+33°09'00.05"
Хатиса	ι	Оріон	2.8	O9	1500	05 ^h 35 ^m 25.94 ^c	-05°55'00.02"
Хедус I	ζ	Візничий	3.7	K4	500	05 ^h 02 ^m 28.97 ^c	+41°04'60.00"
Хедус II	η	Візничий	3.2	B3	200	05 ^h 06 ^m 30.98 ^c	+41°13'59.98"
Хезе	ζ	Діва	3.4	A3	80	13 ^h 34 ^m 42.01 ^c	+00°36'00.00"
Хомам	ζ	Пегас	3.4	B8	150	22 ^h 41 ^m 27.05 ^c	+10°50'00.05"
Целена	16	Телець	5.5	B7	?	03 ^h 44 ^m 48.00 ^c	+24°16'59.95"
Цельбальрай	β	Змієносець	2.8	K2	120	17 ^h 43 ^m 28.02 ^c	+04°33'60.00"
Цозма	δ	Лев	2.6	A4	68.4	11 ^h 14 ^m 06.05 ^c	+20°31'00.04"
Шам	α	Стріла	4.4	G1	600	19 ^h 40 ^m 06.03 ^c	+18°01'00.08"
Шат	β	Пегас	2.3	M2	200	23 ^h 03 ^m 46.95 ^c	+28°04'59.94"
Шаула	λ	Скорпіон	1.6	B2	300	17 ^h 33 ^m 36.04 ^c	-37°06'00.00"
Шедир	α	Кассіопея	2.2	K0	120	00 ^h 40 ^m 31.00 ^c	+56°32'00.08"
Шеліак	β	Ліра	3.3	B7	300	18 ^h 50 ^m 04.05 ^c	+33°22'00.01"
Шемалі	ι	Кит	3.6	K2	200	00 ^h 19 ^m 26.00 ^c	-08°50'00.05"
Шератан	β	Овен	2.6	A5	50.2	01 ^h 54 ^m 39.00 ^c	+20°48'00.01"
Едазих	ι	Дракон	3.3	K2	150	15 ^h 24 ^m 55.96 ^c	+58°58'00.19"
Електра	17	Телець	3.7	B6	400	03 ^h 44 ^m 52.00 ^c	+24°07'00.01"
Ель Анц	ε	Візничий	2.9	F0	4000	05 ^h 01 ^m 58.03 ^c	+43°50'00.01"
Ель Кофра	χ	В. Ведмедиця	3.7	K1	120	11 ^h 46 ^m 02.94 ^c	+47°46'59.95"
Ельнатх	β	Телець	1.7	B7	120	05 ^h 26 ^m 17.01 ^c	+28°36'00.03"
Еніф	ε	Пегас	2.4	K2	500	21 ^h 44 ^m 10.95 ^c	+09°53'00.10"
Еракіс	μ	Цефей	3.4	M2	3000	21 ^h 43 ^m 31.08 ^c	+58°47'00.18"
Етамін	γ	Дракон	2.2	K5	100	17 ^h 56 ^m 35.95 ^c	+51°28'59.99"
Пд. Ослик	δ	Рак	3.9	K0	150	08 ^h 44 ^m 40.96 ^c	+18°09'00.04"

Додаток 20. 100 найближчих зір

Зоря	α	δ	r , n_k	π , 10^{-3}	m_V	Спектр	$\frac{M}{M_\odot}$	$\frac{R}{R_\odot}$
Proxima Cen C	14 ^h 26 ^m 18 ^s	-62° 27'	1.3	772	11.05	M5V	0.18	0.17
alf Cen A	14 36 12	-60 37	1.33	750	-0.01	G2V	1.11	1.32
alf Cen B	14 36 12	-60 37	1.33	750	1.33	K0V	0.92	0.98
Barnard	17 55 24	04 42	1.83	547	9.54	M5V	0.18	0.2
Wolf 359	10 54 06	07 17	2.35	425	13.53	M6V	0.1	0.14
Lalande 21185	11 00 36	36 14	2.52	397	7.5	M2V	0.43	0.47
L 726-8 A	01 36 24	-18 13	2.58	387	12.52	M6V	0.1	0.16
UV Cet B	01 36 24	-18 13	2.58	387	13.02	M4V	0.09	0.15
Sirius A	06 43 00	-16 40	2.65	377	-1.46	M1V	2.17	1.68
Sirius B	06 43 00	-16 40	2.65	377	8.68	B9VII	0.99	0.008
V 1216 Sgr	18 46 48	-23 54	2.9	345	10.6	M4V	0.28	0.13
Ross 248	23 39 30	43 54	3.18	314	12.29	M6V	0.1	0.19
eps Eri	03 30 36	-09 38	3.3	303	3.73	K2V	0.8	0.87
Ross 128	11 45 12	01 05	3.36	298	11.1	M5V	0.18	0.21
61 Cyg A	21 04 42	38 33	3.4	294	5.22	K5V	0.7	0.74
61 Cyg B	21 04 42	38 33	3.4	294	6.03	K7V	0.7	0.68
eps Ind	21 59 36	-57 02	3.44	291	4.68	K4V	0.7	0.74
DM+43 44 A	00 15 30	43 44	3.45	290	8.1	M1V	0.49	0.41
DM+43 44 B	00 15 36	43 45	3.45	290	11.06	M6V	0.1	0.19
DM+43 44 C	00 15 30	43 44	3.45	290	11	M5V	0.24	0.2
L 789-6	22 35 48	-15 34	3.45	290	12.18	M6V	0.1	0.22
Procyon A	07 36 42	05 20	3.5	286	0.37	F5IV	1.78	2.19
Procyon B	07 36 42	05 20	3.5	286	10.7	F1VII	0.66	0.012
Procyon C	07 36 42	05 19	3.5	286	12.8			
DM+591915 A	18 42 12	59 35	3.53	283	8.9	M4V	0.43	0.31
DM+591915 B	18 42 12	59 35	3.53	283	9.69	M5V	0.42	0.24
DM-3615693	23 02 42	-36 08	3.58	279	7.36	M2V	0.43	0.62
G 51-15	08 26 54	26 57	3.6	278	14.81	M8V	0.08	0.11
tau Cet	01 41 48	-16 11	3.61	277	3.5	G8V	0.94	0.81
Luyten	07 24 42	05 20	3.76	266	9.82	M4V	0.28	0.35
L 725-32	01 10 00	-17 15	3.83	261	12.04	M5V	0.18	0.24
DM-39 14192	21 14 18	-39 05	3.85	260	6.67	M0V	0.52	0.72
Kapteyn	05 09 42	-45 05	3.91	256	8.81	M0V	0.52	0.32
DO Cep B	22 26 12	57 27	3.95	253	11.3	M4V	0.28	0.22
Kruger 60A	22 26 12	57 27	3.95	253	9.85	M4V	0.27	0.35
DM-12 4523A	16 27 30	-12 33	4.05	247	10.6	M4V	0.28	0.31
DM-12 4523 B	16 27 30	-12 33	4.05	247	11.7	M5V	0.2	0.24
Ross 614 A	06 26 54	-02 47	4.07	246	11.15	M4V	0.13	0.31
Ross 614 B	06 26 54	-02 47	4.07	246	14.5	M8V	0.08	0.1
v.Maanen	00 46 30	05 07	4.31	232	12.37	F3VI		
Wolf 424 A	12 30 54	09 18	4.35	230	13.16	M4V	0.28	0.31
Wolf 424 B	12 30 54	09 18	4.35	230	13.4	M7V	0.09	0.1
DM-37 15492	00 02 30	-37 38	4.44	225	8.63	M4V	0.28	0.46
G 3-33	01 57 30	12 48	4.46	224	12.27	M5V	0.18	0.25
DM+50 1725	10 08 18	49 43	4.5	222	6.59	K7V	0.57	0.81
DM-46 11540	17 24 54	-46 52	4.63	216	9.36	M2V	0.38	0.43
DM-49 13515	21 30 12	-49 14	4.67	214	8.67	M1V	0.49	0.49
DM+68 946	17 36 42	68 22	4.67	214	9.15	M4V	0.28	0.47

G 158-27	00 04 12	-07 48	4.67	214	13.74	M7V	0.09	0.11
DM-44 11909	17 33 30	-44 18	4.69	213	11.2	M5V	0.18	0.24
G 208-44 A	19 52 18	44 18	4.74	211	13.41	M7V	0.09	0.1
G 208-45 B	19 52 18	44 18	4.74	211	13.99	M7V	0.09	0.1
DM-15 6290	22 50 36	-14 32	4.78	209	10.15	M5V	0.18	0.24
40 Eri A	04 13 00	-07 47	4.83	207	4.43	K1V	0.84	0.81
DM-7 781 B	04 13 06	-07 47	4.83	207	9.52	A0VII	0.43	0.015
LTT-1909 C	04 13 06	-07 47	4.83	207	11.17	M4V	0.2	0.31
AD Leo	10 16 54	20 07	4.85	206	9.4	M4V	0.28	0.5
L 145-141	11 43 00	-64 34	4.85	206	11.44	A8VII		
70 Oph A	18 02 54	02 30	4.93	203	4.22	K0V	0.89	1.02
70 Oph B	18 02 54	02 30	4.93	203	6	K5V	0.65	0.71
EV Lac	22 44 42	44 05	5	200	10.1	M5V	0.18	0.24
DM+15 2620	13 43 12	15 09	5.03	199	8.5	M4V	0.28	0.5
Altair	19 48 24	08 44	5.05	198	0.76	A7V	1.75	1.58
AC+79 3888	11 44 36	78 58	5.18	193	10.8	M4VI	0.3	0.32
G 9-38 A	08 55 30	19 57	5.21	192	14.06	M7V	0.09	0.1
G 9-38 B	08 55 30	19 57	5.21	192	14.92	M7V	0.09	0.1
DM+442051 A	11 03 00	43 48	5.38	186	8.77	M2V	0.43	0.5
WX UMa B	11 03 00	43 49	5.38	186	14.45	M5V	0.18	0.24
36 Oph A	17 12 18	-26 33	5.43	184	5.06	K0V	0.88	0.93
36 Oph B	17 12 18	-26 33	5.43	184	5.09	K1V	0.84	0.9
DM-2612036 C	17 13 12	-26 30	5.43	184	6.34	K5V	0.65	0.78
DM-20 4123 B	14 54 30	-21 12	5.56	180	7.93	M2V	0.43	0.66
DM-20 4125 A	14 54 30	-21 13	5.56	180	5.78	K5V	0.65	0.81
G 175-34 A	04 26 48	58 52	5.56	180	11.08	M4V	0.28	0.31
G 175-34 B	04 26 48	58 52	5.56	180	12.44	F3VII		
DM+1 4774	23 46 36	02 07	5.65	177	8.98	M2V	0.43	0.46
DM-3613940 A	20 07 54	-36 15	5.65	177	5.32	K3V	0.75	0.71
DM-3613940 B	20 07 54	-36 15	5.65	177	11.5	M5V	0.18	0.24
sig Dra	19 32 30	69 34	5.68	176	4.69	K0V	0.88	0.78
del Pav	20 03 48	-66 20	5.71	175	3.55	G5IV	1	1.23
L 347-14	19 17 06	-45 39	5.71	175	11.5	M7V	0.09	0.1
DM-21 1377	06 08 30	-21 52	5.78	173	8.13	M1V	0.49	0.69
L 97-12	07 52 48	-67 39	5.78	173	14.34	(K-M)VII		
DM+4 4048 A	19 14 30	05 05	5.85	171	9.12	M3V	0.36	0.58
eta Cas A	00 46 06	57 33	5.85	171	3.7	G0V	0.88	1.09
eta Cas B	00 46 06	57 33	5.85	171	7.51	M0V	0.54	0.65
eta Cas C	00 46 06	57 33	5.85	171	8	M0V	0.5	0.65
L 674-15	08 10 30	-21 25	5.85	171	11.6		0.5	0.7
v.Biesbroeck B	19 14 30	05 04	5.85	171	17.38	M5V	0.18	0.24
DM-3 1123	05 28 54	-03 43	5.88	170	7.97	M1V	0.49	0.79
L 205-128	17 42 24	-57 18	5.88	170	10.9		0.5	0.7
DM-40 9712	15 29 00	-41 07	5.92	169	10.1	M4V	0.28	0.31
G 240-72	17 49 00	70 52	5.92	169	14.15	G0VII		
G 87-12	06 51 36	33 20	5.95	168	9.9	M4V	0.28	0.38
YZ CMi	07 42 06	03 41	5.99	167	11.2	M4V	0.28	0.3
G 102-22	05 39 12	12 28	6.02	166	11.48	M4V	0.28	0.32
G 87-26 A	07 06 42	38 37	6.02	166	12.5	M5V	0.18	0.24
G 87-26 B	07 06 42	38 37	6.02	166	13.1	M6V	0.1	0.19
DM-45 13677	20 10 18	-45 19	6.1	164	7.97	M0V	0.52	0.68
DM+46 1797	12 33 30	46 03	6.1	164	7.13	K4V	0.7	0.78

Додаток 21. 100 найяскравіших зір

Буква	Сузір'я	α	δ	m _v	Ст. клас	B-V	μ , 10 ⁻³	μ , 10 ⁻³⁰ /p ₂	D_n , 10 ¹⁶ л/с
α	CMa	06 ^h 45 ^m 8 ^s .9	-16 ^o 42' 58"	-1.46	A1Vm		379	523	-8
α	Car	06 23 57.2	-52 41 44.0	-0.72	F0II	0.15	10	12	21
α	Boo	14 15 39.6	19 10 57.0	-0.05	K1IIIbC	1.23	88	1032	-5
α	Cen	14 39 36.2	-60 50 07.0	-0.01	G2V	0.71	742	1792	-25
α	Lyr	18 36 56.2	38 47 01.0	0.03	A0Va		128	157	-14
α	Aur	05 16 41.3	45 59 53.0	0.08	G5IIIe+G0III	0.8	77	52	30
β	Ori	05 14 32.2	-08 12 06.0	0.13	B8ae:	-0.03	4	1	21
α	CMi	07 39 18.1	05 13 30.0	0.37	F5IV-V	0.42	285	713	-3
α	Eri	01 37 42.9	-57 14 12.0	0.46	B3Vpe	-0.16	22	48	16
α	Ori	05 55 10.3	07 24 25.0	0.5	M1-2Ia-Iab	1.89	7	27	21
β	Cen	14 03 49.4	-60 22 22.0	0.61	B1III	-0.23	6	16	6
α	Aql	19 50 46.9	08 52 06.0	0.76	A7V	0.22	194	530	-26
α	Tau	04 35 55.2	16 30 33.0	0.86	K5III	1.54	50	59	54
α	Sco	16 29 24.4	-26 25 55.0	0.91	M1.5Iab-Ib+B4Ve	1.84	5	9	-3
α	Vir	13 25 11.5	-11 09 41.0	0.97	B1III-IV+B2V	-0.23	12	41	1
β	Gem	07 45 18.9	28 01 34.0	1.14	K0IIIb	1	96	552	3
α	PsA	22 57 39.0	-29 37 20.0	1.16	A3V	0.09	130	286	7
β	Cru	12 47 43.3	-59 41 19.0	1.25	B0.5III	-0.23	9	24	16
α	Cyg	20 41 25.8	45 16 49.0	1.25	A2Iae	0.09	1	1	-5
α	Cen	14 39 36.2	-60 50 07.0	1.33	K1V	0.88	742	1754	-21
α	Leo	10 08 22.3	11 58 02.0	1.35	B7V	-0.11	42	244	6
ϵ	CMa	06 58 37.5	-28 58 20.0	1.5	B2II	-0.21	7	2	27
α	Gem	07 34 35.9	31 53 18.0	1.58	A1V	0.04	63	175	6
α	Gem	07 34 35.9	31 53 18.0	1.58	A2Vm	0.04	63	175	-1
α	Cru	12 26 35.9	-63 05 56.0	1.58	B0.5IV	-0.26	10	16	-11
γ	Cru	12 31 09.9	-57 06 47.0	1.63	M3.5III	1.59	37	15	21
λ	Sco	17 33 36.4	-37 06 13.0	1.63	B2IV+B	-0.22	4	6	-3
γ	Ori	05 25 07.8	06 20 59.0	1.64	B2III	-0.22	13	8	18
β	Tau	05 26 17.5	28 36 27.0	1.65	B7III	-0.13	24	20	9
ϵ	Ori	05 36 12.7	-01 12 07.0	1.69	B0Iae	-0.18	2	1	26
β	Car	09 13 12.1	-69 43 02.0	1.69	A2IV		29	54	-5
α	Gru	22 08 13.9	-46 57 40.0	1.71	B7IV	-0.13	32	87	12
ϵ	UMa	12 54 01.7	55 57 35.0	1.77	A0pCr	-0.02	40	62	-9
α	Per	03 24 19.3	49 51 41.0	1.79	F5Ib	0.48	5	15	-2
α	UMa	11 03 43.6	61 45 03.0	1.79	K0IIIa	1.07	26	64	-9
γ	Vel	08 09 31.9	-47 20 12.0	1.83	WC8+O7.5e	-0.25	3	3	35
δ	CMa	07 08 23.4	-26 23 35.0	1.84	F8Ia	0.67	1	2	34
ϵ	Sgr	18 24 10.3	-34 23 05.0	1.85	B9.5III	-0.03	22	32	-15
ϵ	Car	08 22 30.8	-59 30 34.0	1.86	K3III+B2:V	1.28	5	13	2
η	UMa	13 47 32.3	49 18 48.0	1.86	B3V	-0.19	32	79	-11
θ	Sco	17 37 19.0	-42 59 52.0	1.87	F1II	0.4	11	4	1
β	Aur	05 59 31.7	44 56 51.0	1.9	A2IV	0.03	39	40	-18
γ	Gem	06 37 42.7	16 23 57.0	1.92	A0IV		31	2	-13
α	TrA	16 48 39.9	-69 01 40.0	1.92	K2IIb-IIIa	1.44	7	6	-3
α	Pav	20 25 38.8	-56 44 07.0	1.94	B2IV	-0.2	17	4	2
δ	Vel	08 44 42.2	-54 42 30.0	1.96	A1V	0.04	40	16	2
β	CMa	06 22 41.9	-17 57 22.0	1.97	B1II-III	-0.24	6	3	34
α	Hya	09 27 35.2	-08 39 31.0	1.97	K3II-III	1.45	18	14	-4

T	CrB	15 59 30.1	25 55 13.0	2	Be+gM3+Q	0.1	-1	4	-29
α	Ari	02 07 10.3	23 27 45.0	2.01	K2IIIabCa-I	1.16	49	174	-14
β	Cet	00 43 35.3	-17 59 12.0	2.01	K0IIIcH-1H,K-0.5	1.01	34	221	13
α	UMi	02 31 50.5	89 15 51.0	2.02	F7:Ib-IIv	0.6	7	1	-17
σ	Sgr	18 55 15.8	-26 17 48.0	2.03	B2.5V	-0.22	14	12	-11
β	And	01 09 43.9	35 37 14.0	2.05	M0IIIa	1.57	16	142	3
θ	Cen	14 06 40.8	-36 22 12.0	2.05	K0IIIb	0.99	53	418	1
ζ	Ori	05 40 45.5	-01 56 34.0	2.05	O9.5Ibe	-0.21	3	3	18
κ	Ori	05 47 45.3	-09 40 11.0	2.06	B0.5Iav	-0.18	4	1	21
α	And	00 08 23.2	29 05 26.0	2.06	B8IVpMnHg	-0.11	33	118	-12
α	Oph	17 34 56.0	12 33 36.0	2.07	A5III	0.15	69	107	13
β	UMi	14 50 42.2	74 09 20.0	2.08	K4IIIbBa.0.3	1.47	25	9	17
α	Cru	12 26 36.5	-63 05 58.0	2.09	B1V	99.99	10	16	-1
β	Gru	22 42 40.0	-46 53 05.0	2.11	M5III	1.62	19	92	2
β	Per	03 08 10.1	40 57 21.0	2.12	B8V	-0.05	35	2	4
β	Leo	11 49 03.5	14 34 19.0	2.14	A3V	0.08	90	483	
γ	Cen	12 41 30.9	-48 57 34.0	2.17	A1IV	-0.01	25	123	-6
λ	Vel	09 08 00.0	-43 25 57.0	2.21	K4Ib-II	1.65	5	17	18
γ	Dra	17 56 36.3	51 29 20.0	2.22	K5III	1.52	22	5	-28
γ	Cyg	20 22 13.6	40 15 24.0	2.23	F8Ib	0.67	2	2	-8
α	Cas	00 40 30.4	56 32 15.0	2.23	K0IIIa	1.17	14	28	-4
δ	Ori	05 32 00.3	-00 17 57.0	2.24	B0III+O9V	-0.22	3	1	16
α	CrB	15 34 41.2	26 42 53.0	2.24	A0V	-0.02	43	107	2
ι	Car	09 17 05.4	-59 16 31.0	2.25	A8Ib	0.18	4	10	13
ζ	Pup	08 03 35.0	-40 00 11.0	2.25	O5Iaf	-0.27	2	23	-24
γ	And	02 03 53.9	42 19 47.0	2.26	K3-IIb	1.37	9	32	-12
ζ	UMa	13 23 55.5	54 55 31.0	2.27	A1VpSrSi	0.02	41	70	-6
β	Cas	00 09 10.6	59 08 59.0	2.27	F2III-IV	0.34	59	268	11
ε	Sco	16 50 09.7	-34 17 36.0	2.29	K2.5III	1.15	49	505	-3
ε	Cen	13 39 53.2	-53 27 59.0	2.3	B1III	-0.22	8	8	3
α	Lup	14 41 55.7	-47 23 17.0	2.3	B1.5III	-0.2	5	14	5
η	Cen	14 35 30.3	-42 09 28.0	2.31	B1.5Vne	-0.19	10	26	
δ	Sco	16 00 19.9	-22 37 18.0	2.32	B0.3IV	-0.12	8	7	-7
β	UMa	11 01 50.4	56 22 56.0	2.37	A1V	-0.02	41	45	-12
α	Phe	00 26 17.0	-42 18 22.0	2.38	K0III	1.09	42	172	75
ε	Peg	21 44 11.1	09 52 30.0	2.39	K2Ib	1.52	4	30	5
κ	Sco	17 42 29.1	-39 01 48.0	2.41	B1.5III	-0.21	7	5	-14
η	Oph	17 10 22.6	-15 43 29.0	2.42	A2V	0.05	38	39	-1
β	Peg	23 03 46.4	28 04 58.0	2.42	M2.5II-III	1.67	16	165	9
η	CMa	07 24 05.6	-29 18 11.0	2.44	B5Ia	-0.09	1	3	41
γ	UMa	11 53 49.8	53 41 41.0	2.44	A0Ve		38	63	-13
α	Cep	21 18 34.7	62 35 08.0	2.45	A7V	0.22	66	69	-10
ε	Cyg	20 46 12.6	33 58 13.0	2.46	K0III	1.03	45	295	-11
γ	Cas	00 56 42.4	60 43 00.0	2.47	B0IVe	-0.1	5	12	-7
α	Peg	23 04 45.6	15 12 19.0	2.48	B9V	-0.04	23	59	-4
κ	Vel	09 22 06.8	-55 00 38.0	2.5	B2IV-V	-0.18	6	6	22
α	Cet	03 02 16.7	04 05 23.0	2.53	M1.5IIIa	1.64	14	11	-26
ζ	Cen	13 55 32.3	-47 17 18.0	2.55	B2.5IV	-0.22	8	39	7
δ	Leo	11 14 06.4	20 31 25.0	2.56	A4V	0.12	56	134	-20
ζ	Oph	16 37 09.4	-10 34 02.0	2.56	O9.5Vn	0.02	7	13	-15
α	Lep	05 32 43.7	-17 49 20.0	2.57	F0Ib	0.2	2	3	24
β	Sco	16 05 26.1	-19 48 19.0	2.58	B1V	-0.08	6	6	-1

Додаток 22. Таблиця деяких спектральних ліній

Позначення в спектрі Сонця	Позначення в спектрі елемента	Довжина хвилі, Å	Позначення в спектрі Сонця	Довжина хвилі, Å
Водень Н			Залізо Fe	
C	H _α	6563	E	5270
F	H _β	4861	b ₃	5169
G'	H _γ	4340	b ₄	5168
h	H _δ	4102	c	4954
	H _ε	3970	d	4668
	H _ζ	3889	e	4384
	H _η	3865	G	4326
Кисень O			Магній Mg	
A		7621	b ₁	5184
a		7185	b ₂	5173
B		6870	b ₄	5167
α		6278	Кальцій Ca ⁺	
Натрій Na			H	3968
D ₁	D ₁	5896	K	3934
D ₂	D ₂	5890		
D ₃	D ₃	5876		
Гелій He				
		7065		
		6678		
		5876		
		5048		
		5016		
		4922		
		4713		
		4472		
		4388		
		4144		
		4121		
		4026		
		3965		
Титан Ti ⁺				
		3759		

Додаток 23. Середні значення температури T , показника кольору CI , ($B-V$) та болометричної поправки b .

Сп. клас	Головна послідовність			Гіганти і надгіганти		
	T, K	CI	B-V	T, K	CI	B-V
O5	35000	-0,50	-0,45	35000	-0,50	-0,45
B0	21000	-0,45	-0,31	21000	-0,45	-0,31
B5	15500	-0,39	-0,17	15500	-0,39	-0,17
A0	11000	-0,15	0,00	11000	-0,15	0,00
A5	9800	0,00	+0,16	9800	0,00	+0,16
F0	8600	+0,12	+0,30	8600	+0,12	+0,30
F5	7500	+0,1	+0,45	7500	+0,26	+0,45
G0	6500	+0,42	+0,57	5700	+0,42	+0,57
G5	5400	+0,64	+0,70	5000	+0,64	+0,70
K0	4700	+0,89	+0,84	4300	+0,89	+0,84
K5	4000	+1,20	+1,11	3600	+1,20	+1,11
M0	3600	+1,30	+1,39	3400	+1,30	+1,39
M5	3000	+1,80	+1,61	2800	+1,80	+1,61

Сп. клас	b	Сп. клас	b		
			Головна послідовність	Гіганти	Надгіганти
B0	-2,70	F5	-0,04	-0,08	-0,12
B5	-1,58	F8	-0,05	-0,17	-0,28
A0	-0,72	G0	-0,06	-0,25	-0,42
A5	-0,31	G2	-0,07	-0,31	-0,52
F0	-0,09	G5	-0,10	-0,39	-0,65
F2	-0,04	G8	-0,10	-0,47	-0,80
		K0	-0,11	-0,54	-0,93
		K2	-0,15	-0,72	-1,20
		K3	-0,31	-0,89	-1,35
		K4	-0,55	-1,11	-1,56
		K5	-0,85	-1,35	-1,86
		M0	-1,43	-1,55	-2,2
		M1	-1,70	-1,72	-2,6
		M2	-2,03	-1,95	-3,0
		M3	-2,35	-2,26	-3,6
		M4	-2,7	-2,72	-3,8
		M5	-3,1	-3,4	-4,0

Додаток 24. Географічні координати деяких пунктів України

Пункт	Широта	Довгота
Бориспіль	50° 21' пн.ш.	30° 57' сх.д.
Вінниця	49° 14' пн.ш.	28° 29' сх.д.
Дніпропетровськ	48° 27' пн.ш.	34° 59' сх.д.
Донецьк	48° 00' пн.ш.	37° 48' сх.д.
Житомир	50° 16' пн.ш.	28° 40' сх.д.
Запоріжжя	47° 50' пн.ш.	35° 10' сх.д.
Івано-Франківськ	48° 55' пн.ш.	24° 43' сх.д.
Керч	45° 22' пн.ш.	36° 27' сх.д.
Київ	50° 27' пн.ш.	30° 30' сх.д.
Кіровоград	48° 30' пн.ш.	32° 18' сх.д.
Луцьк	50° 44' пн.ш.	25° 20' сх.д.
Львів	49° 50' пн.ш.	24° 00' сх.д.
Миколаїв	46° 58' пн.ш.	32° 00' сх.д.
Одеса	46° 28' пн.ш.	30° 44' сх.д.
Полтава	49° 35' пн.ш.	34° 34' сх.д.
Рівне	50° 37' пн.ш.	26° 15' сх.д.
Севастополь	44° 36' пн.ш.	33° 32' сх.д.
Сімферополь	44° 57' пн.ш.	34° 06' сх.д.
Суми	50° 55' пн.ш.	34° 45' сх.д.
Тернопіль	49° 34' пн.ш.	25° 36' сх.д.
Ужгород	48° 37' пн.ш.	22° 18' сх.д.
Харків	50° 00' пн.ш.	36° 15' сх.д.
Херсон	46° 38' пн.ш.	32° 35' сх.д.
Чернігів	51° 30' пн.ш.	31° 18' сх.д.
Чернівці	48° 18' пн.ш.	25° 56' сх.д.

Список використаної літератури

1. І.А. Климишин. Астрономія, Львів, “Світ”, 1994.
2. С.М. Андрієвський, І.А. Климишин. Курс загальної астрономії: навчальний посібник. – Одеса: Астропринт, 2007. – 480 с.
3. Дагаев М. М. Сборник задач по астрономии: Учеб. пособие для студентов физ.-мат, фак, пед, ин-тов. – М: Просвещение, 1980.— 128 с, ил.
4. Воронцов-Вельяминов Б.А. Сборник задач и практических упражнений по астрономии. – М: Наука, 1977 г., 272 стр. с илл.
5. Дагаев М.М. Лабораторный практикум по курсу общей астрономии. – М.: Высшая школа, 1972.
6. Куликовский П.Г. Справочник любителя астрономии. М.: УРСС, 2002. - 688 с.
7. Атлас звездного неба. Все созвездия Северного и Южного полушарий с подробными картами / А. А. Шимбалеv; Под ред. И. А. Малевича.— Мн.: Харвест, 2004,— 320 с.: ил.