

Лабораторні роботи з курсу «Астрономічні спостереження»

20 год. лаб., 6 семестр, екзамен (на вибір)

Лабораторна робота №1 Практичне визначення гостроти зору

експериментатора при проведенні астрономічних спостережень

Лабораторна робота №2 Рухома карта зоряного неба

Лабораторна робота №3 Перетворення астрономічних координат.

Лабораторна робота №4 Обчислення часів і азимутів сходу та заходу сонця.

Лабораторна робота №5 Розрахунок зоряного часу.

Лабораторна робота №6 Конфігурації планет сонячної системи.

Лабораторна робота №7 Рух штучних супутників Землі

Лабораторна робота №8 Розрахунок міжпланетного космічного польоту

Лабораторна робота №9-10 Астрономічні спостереження неозброєним оком та за допомогою телескопа

Лабораторна робота №1

Тема: Практичне визначення гостроти зору експериментатора при проведенні астрономічних спостережень

Мета: Вивчити основні методики визначення гостроти зору експериментатора і практично встановити власні параметри свого зору.

Обладнання, посібники і матеріали. Картон 10 x 6 см, з отвором в середній частині діаметром 10 мм, аркуш білого паперу, мірна стрічка, лінійка.

Короткі теоретичні відомості

Астрономічні спостереження – захоплююче зайняття, яке доступне кожній людині. Щоб приступити до спостережень і навіть набути в цьому певного досвіду, необов'язково мати те, що називають математичним складом розуму. Зайняття астрономією не просто одне з небагатьох захоплень, що приносить величезне задоволення, – за бажання без особливих зусиль можливо проводити спостереження, що представляють наукову цінність.

Небо відкриває багаті можливості для спостережень. Передусім це явища, що відбуваються в земній атмосфері: метеори і полярні сяйва. Разом з планетами і зорями спостереженням доступні і далекі галактики.

Зрозуміло, що основним інструментом спостережень є око. Зіниця ока майже миттєво реагує на значні зміни освітленості, але справжня адаптація до темряви відбувається, коли в сітківці очей виробляється особливий очний пігмент. Адаптація триває більше 30 хвилин, впродовж яких чутливість ока помітно підвищується. Тому перед спостереженнями рекомендується захистити очі від яскравого світла – деякі спостерігачі з цією метою використовують темні сонцезахисні окуляри.

Оскільки слабке червоне світло майже не впливає на адаптацію очей до темряви, то розглядати зоряні карти або робити записи під час спостережень рекомендується при червоному освітленні. Для цього лампу або кишеньковий ліхтар можна огорнути червоним папером, пластиком або тканиною і переконаєтеся, що світло дуже слабке. Спостереження у бінокль мають певну перевагу, оскільки обидва ока при цьому працюють одночасно в однакових умовах, що істотно зменшує їх стомлюваність.

При спостереженнях в телескоп спробуйте «побороти» природне бажання замружити "непотрібне" око, бо це призводить до напруги і втоми обох. З часом ви навчитеся не звертати увагу на друге розплющене око, але якщо це виявиться важким (чи у разі стороннього світла, що заважає), то на нього слід надягти пов'язку, яка дозволить вам при спостереженнях тримати обидва ока відкритими.

Неприємним дефектом зору є астигматизм, із-за якого зображення зір виглядають витягнутими або безформними. Такі дефекти, як далекозорість або короткозорість, не створюють проблем при спостереженнях у біноклі або телескопи, оскільки ці прилади допомагають фокусувати зображення відповідно до можливостей зору.

Більшості спостерігачів спочатку не вдається розрізнити слабкі деталі на

поверхні планет або менш яскраві зорі. Проте у міру набуття досвіду сприйняття швидко покращується, тому, чим частіше ви проводитимете спостереження, тим краще. Досвідчені спостерігачі часто використовують бічний зір, дивлячись злегка убік від досліджуваного слабкого об'єкту, при цьому зображення потрапляє на чутливішу частину сітківки ока. Встановити точне місце розташування цієї невеликої чутливої ділянки сітківки не просто. Хоча телескопи і біноклі повинні по можливості мати жорстке кріплення, дуже слабке зміщення окулярної частини іноді допомагає виявити в полі зору слабкі зорі, бо око краще розрізняє об'єкти, що рухаються.

Щоб бути максимально підготовленими до початку спостережень доцільно на перших етапах вивчення астрономії виконати запропоновану лабораторну роботу для визначення гостроти зору спостерігача.

Роздільна здатність ока – це граничний кут, під яким дві точки (лінії), що знаходяться на деякій відстані одна від одної, спостерігаються роздільно. Цим і визначається метод знаходження роздільної здатності ока – його гостроти: φ – роздільна здатність ока; Δt – час реакції на світловий або звуковий сигнали.

Завдання для самостійної роботи.

1. Відповідно до поняття роздільної здатності ока, зробити позначення, які показані на рис. 1.

2. Уявити, що радіусом d описано коло з центром в отворі картону. У даному випадку $2\pi d$ відповідає $360^\circ = 360 \cdot 3600'' = 1296 \cdot 10^3''$

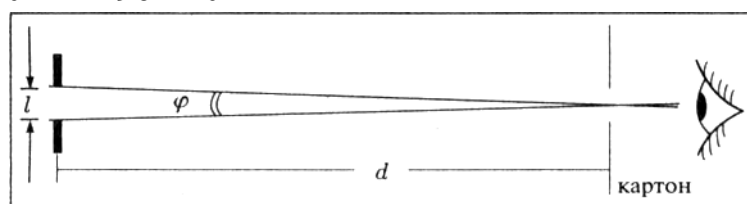


Рис. 1. Схема до визначення гостроти зору:

l – відстань між двома точками або лініями; d – відстань від екрана з намальованими точками (лініями) до картону з отвором; φ – кут зору

$$\left. \begin{array}{l} 2\pi d - 1296 \cdot 10^3'' \\ 1 - \varphi \\ \text{де, } l \text{ та } d \text{ в мм.} \end{array} \right\} \varphi = \frac{1 \cdot 1296 \cdot 10^3''}{2\pi d}$$

3. На аркуші білого паперу малюємо дві лінії на відстані $l = 1$ мм один від одного. Закріплюємо листок на стіні з достатнім освітленням. Беремо картон з отвором, відходимо від стіни приблизно на 3 м, дивлячись одним оком в отвір, підходимо до листка. Як тільки побачимо лінії роздільно, зупиняємося. Вимірюємо мірною стрічкою відстань d (мм). Аналогічно робимо і з другим оком. Отримані дані записуємо в таблицю. Відстань між лініями можна більш точно виміряти за допомогою лупи або мікроскопа (табл. 1).

Приклад обчислень: $\varphi_1 = \frac{1 \cdot 1296 \cdot 10^3''}{6,28 \cdot 1600} = 129''$

Середнє значення: $\bar{\varphi} = \frac{\varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3}{3} = 121''$

Таблиця 1.

№ з / П	l (мм)	d (мм)	φ "
1	1	1600	129
2	0,95	1700	115
3	0,97	1660	120

Висновок. Роздільна здатність очей даного експериментатора $\varphi = 121''$, тобто у нього короткозорість. Граничний кут роздільної здатності нормального ока $\varphi_n = 50''$

Примітка I. Властивості нормального ока:

1. Відстань найкращого зору - 25 см.
2. Зміна діаметру зіниці ока в залежності від освітленості від 2 ÷ 8 мм.
3. Час повної адаптації ока при переході від високих освітленостей до низьких - 1 година.
4. Граничний кут зору - 50".
5. Розмір світлочутливих клітин ока – 2,5 ÷ 3 мкм.
6. На відстані 25 см око розрізняє дві точки, що знаходяться на відстані 0,25 мм.
7. Поріг зорового відчуття відповідає потужності 10–17 Вт

Примітка II. У примітці I наведена роздільна здатність незброєного ока - 50 ". Озброєння телескопом значно підвищує роздільну здатність ока. Наприклад, відомо, що якщо розмістити на Місяці оптичний телескоп, дзеркало якого зробити діаметром 25 м, то він буде давати кутову роздільну здатність 0,0001". У таблицях 2 Л та 2 П записують дані для лівого та правого ока.

Таблиця 2. Зразок таблиць 2 Л і 2 П для лівого і правого очей.

№ з / п	l (мм)	d (мм)	φ "
1			
2			
3			

Спостереження багатьох небесних тіл і явищ можна проводити незброєним оком. Особливе місце тут займають вивчення сузір'їв і орієнтування серед зір. Подібні спостереження дуже важливі для астрономів, оскільки дають чудову практику, яка служить підготовкою до вивчення неба за допомогою бінокля і телескопа. Так, на Місяці незброєним оком є можливість розрізнити таку ж різноманітність цікавих деталей, як у більшості планет в телескопи.

Тому спостереження Місяця сприяють накопиченню великого досвіду для подальших телескопічних досліджень планет та інших небесних тіл.

ЛІТЕРАТУРА

1. Мозговий О. В. Лабораторний практикум з астрономії / О. В. Мозговий, В. П. Думенко, О. В. Кузьминський. – Вінниця: ФОП Костюк Н.П., 2018. – 84 с

2. Боярченко І. Ф., Гулак Ю. К., Раздемаха Г. С., Сандакова Е. В. Астрономія. К., 1976.
3. Бакулин П. И., Кононович Е. В., Мороз В. И. Курс общей астрономии. М., 1983.
4. Чепрасов В.Г. Практикум з курсу загальної астрономії. К., 1976.
5. Цесевич В. П. Что и как наблюдать на небе. М., 1984.
6. Климишин І. А. Історія астрономії. 2-ге, виправлене видання.— Івано-Франківськ: “Гостинець”, 2006. — 652 с.
7. Климишин І. А. Календар і хронологія. - 5-е видання, доповнене. Івано-Франківськ, Гостинець, в-во Івано-Франківської Геологічної Академії, 2002. - 232 с
8. Андрієвський С. М., Кузьменков С. Г., Захожай В. А., Климишин І. А. Загальна астрономія: підручник — Харків : ПромАрт, 2019. — 524 с.
9. Андрієвський С. М., Климишин І. А. Курс загальної астрономії: Навчальний посібник. —Одеса: Астропринт, 2007. — 480 с.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2

Тема: Рухома карта зоряного неба

Посібники і прилади: Рухома карта зоряного неба, зоряний атлас, "Короткий астрономічний календар", "Астрономический календарь ВАГО" (змінна частина), "Шкільний астрономічний календар".

1. Теоретичні дослідження.

Вивчити:

1. Будову рухомої карти зоряного неба.
2. Основні сузір'я та власні назви зірок зоряного неба.
3. Зодіакальні сузір'я.
4. Основні точки, площини кіл і лінії небесної сфери.
5. Площина екліптики. Екліптичні координати.

Рухома карта зоряного неба зображає собою навчальний прилад, який служить для вивчення зоряного неба. Вона дає можливість визначити вид зоряного неба в будь-який момент доби заданої дати; з допомогою рухомої карти зоряного неба можна встановити, які світила в даний момент сходять, заходять або кульмінують.

Карта складається з двох частин: рухомої і нерухомої. Рухома частина зображається диском, на якому в центрі знаходиться північний полюс світу від якого розходяться у вигляді прямих ліній кола схилень.

Концентричними колами на диску зображені небесні паралелі, які відповідають значенням $\delta = +60^\circ, +30^\circ, 0^\circ, -30^\circ, -45^\circ$. Небесний екватор і три небесні паралелі позначені цифрами в точках їх перетину з колом схилень $\alpha = 0^h$ і $\alpha = 12^h$.

На паралелі, яка проходить біля краю диска, нанесені з внутрішньої сторони числові значення α , які відповідають проведенням колам схилень ($0^h, 1^h, 2^h$, і т.д.). З зовнішньої сторони цієї паралелі нанесені календарні числа і назви місяців.

Ексцентричний овал, який перетинається з екватором в точках ($\alpha = 0^h, \delta = 0^\circ$) і ($\alpha = 12^h, \delta = 0^\circ$), зображає екліптику. Якщо провести із полюса світу пряму на той чи інший день шкали календарних дат, тоді точка перетину цієї прямої із екліптикою покаже положення Сонця на небесній сфері в заданий день. Область карти, яка міститься всередині небесного екватора, зображає собою північну небесну сферу півсферу. Остання частина карти зображає пояс південної півсфери. На диску пунктирними лініями зображені межі сузір'їв.

На нерухомій частині зоряної карти, яка зображається накладним кругом, який є внутрішній виріз овальної форми, положення якого визначається географічною широтою місця спостереження. Він вирізається по тій лінії, яка відповідає значенню географічної широти найближчої до географічної широти місця спостереження.

На внутрішній частині накладного круга розміщується годинний лімб, поділений на 24 години, на якому штрихи нанесені через кожні 10 хвилин. На лімб нанесені цифри в системі середнього часу.

Завдання

1. Поверніть рухомий диск так, щоб задана година спостережень зівпадала із заданою датою. Тоді у вирізі буде вигляд зоряного неба для заданої дати і години і заданої широти ($\varphi=50^\circ$).

Визначіть, які сузір'я і яскраві зірки в цей час сходять, заходять, знаходяться у верхній і нижній кульмінаціях, які видно повністю, а які частково. Встановіть з допомогою зоряного атласу як називаються найяскравіші зірки видимі в цей час на небі.

Варіант	1	2	3	4	5
Дата	20.05	05.10	20.03	15.06	01.07
Години	23 ^h 40 ^m	22 ^h 45 ^m	2 ^h 50 ^m	3 ^h 40 ^m	5 ^h 20 ^m
	6	7	8	9	10
	15.12	25.11	20.09	01.08	22.02
	7 ^h 10 ^m	8 ^h 40 ^m	23 ^h 30 ^m	21 ^h 25 ^m	16 ^h 20 ^m

2. Визначити дату, коли задана зірка кульмінує у верхній кульмінації в 19^h40^m за середнім сонячним часом.

Варіант	1	2	3	4	5
Зірка	Альтаір	Кастор	Спіка	Регул	Проціон
Варіант	6	7	8	9	10
Зірка	Ригель	Альдебара н	Альфера ц	Фольмага ут	Арктур

З шкільного астрономічного календаря випишіть всі дані про цю зірку.

3. Визначити о котрій годині за середнім сонячним часом (для заданої дати) сходить, заходить і кульмінує у верхній кульмінації зірка, вказана у завданні 2.

4. Визначити для вказаної нижче дати:

- в якому сузір'ї знаходиться Сонце;
- час сходу і заходу Сонця;
- тривалість дня.

Варіант	1	2	3	4	5
Дата	22.05	22.10	22.03	22.06	22.07
Варіант	6	7	8	9	10
Дата	22.12	22.11	22.09	22.08	22.02

5. Визначити із котрої і по котру календарну дату можна спостерігати від 21^h до 24^h заданий варіантом об'єкт:

Варіант	1	2	3	4	5
Зірка	Туманність Андромеди	РЗС Плеяди	Туманність Оріона	РЗС Ясла	РЗС Гіади
Варіант	6	7	8	9	10
Зірка	Алголь	Спіка	Сіріус	Фольма гаут	Регул

6. Розв'яжіть згідно варіанту наступну задачу:

1. "Волосожар жеврів прямо над головою. 'Північ', - подумав Юхим" - говориться в одному опівданні про Ростовську область, середня широта якої - 47°. Чи буває в Ростовській області Волосожар (Плеяди) в зеніті?
2. " ...На березі річки вона розіб'є сад і виоре його навесні, але не тоді, коли Плеяди кличуть орача, як кажуть старі люди, а в день, зазначений у календарі". Йдеться про провінцію Наталь у Південній Африці (близько 28° пд.ш.). Чи видно в цих місцях весною Плеяди?
3. "Деся глибоко в пучині відбивалося зоряне небо. Найяскравіше виблискувало золоте мотовило Оріона, і Ян подумав, що, може, і захисники Мадріда... дивляться сьогодні на це сузір'я". Чи видно сузір'я Оріона в Мадріді?
4. Яке з 88 сузір'їв найбільше? Найменше? Найдовше?
5. Яке сузір'я, що знаходиться на небесному екваторі, розрізає на дві нерівні частини інше сузір'я?
6. Чи всі сузір'я Зодіаку можна спостерігати на земних полюсах?
7. Коли сузір'я Зодіаку помітніші на небі наших середніх північних широт - влітку чи взимку? Чому?
8. Яке із сузір'їв Зодіаку Сонце проходить за найкоротший час? За найдовший?
9. "Антенa телевізора була напрямлена на альфу Центавра - найближчу до нашої планети зорю". Дія відбувається в Нью-Йорку (40°40' пн.ш.). Чи можна звідти "націлитися" на альфу Центавра?
10. В яких широтних межах сузір'я Зодіаку можуть перебувати в зеніті?

ЛІТЕРАТУРА

1. Мозговий О. В. Лабораторний практикум з астрономії / О. В. Мозговий, В. П. Думенко, О. В. Кузьминський. – Вінниця: ФОП Костюк Н.П., 2018. – 84 с
2. Боярченко І. Ф., Гулак Ю. К., Раздемаха Г. С., Сандакова Е. В. Астрономія. К., 1976.
3. Бакулин П. И., Кононович Е. В., Мороз В. И. Курс общей астрономии. М., 1983.
4. Чепрасов В.Г. Практикум з курсу загальної астрономії. К., 1976.

5. Цесевич В. П. Что и как наблюдать на небе. М., 1984.
6. Климишин І. А. Історія астрономії. 2-ге, виправлене видання.— Івано-Франківськ: “Гостинець”, 2006. — 652 с.
7. Климишин І. А. Календар і хронологія. - 5-е видання, доповнене. Івано-Франківськ, Гостинець, в-во Івано-Франківської Теологічної Академії, 2002. - 232 с
8. Андрієвський С. М., Кузьменков С. Г., Захожай В. А., Климишин І. А. Загальна астрономія: підручник — Харків : ПромАрт, 2019. — 524 с.
9. Андрієвський С. М., Климишин І. А. Курс загальної астрономії: Навчальний посібник. —Одеса: Астропринт, 2007. — 480 с.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3

Тема: ПЕРЕТВОРЕННЯ АСТРОНОМІЧНИХ КООРДИНАТ.

Мета роботи: Ознайомити студентів з методами перетворення астрономічних координат.

Посібники і прилади: „Астрономічний календар”, „Шкільний астрономічний календар”, модель „Небесна сфера.”

I. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ.

1. Вивчити:

- Поняття про небесну сферу. Основні лінії та площини небесної сфери.
 - Системи небесних координат; перетворення астрономічних координат.
 - Теорема про висоту полюса світу над горизонтом.
- Довести, що сторони і кути паралактичного і II астрономічного трикутників виражаються так, як на рисунках 1 та 2, відповідно.
 - Вивести робочі формули (1) - (5).
 - Визначення положення точки весняного рівнодення.

Перетворенням астрономічних координат називається обчислення сферичних координат світила в певній заданій системі за відомими його координатами в іншій системі. Таке перетворення здійснюється на основі першого астрономічного трикутника, так званого, паралактичного трикутника – трикутника на небесній сфері, вершинами якого є полюс світу P , зеніт Z та світило M (рис. 1).

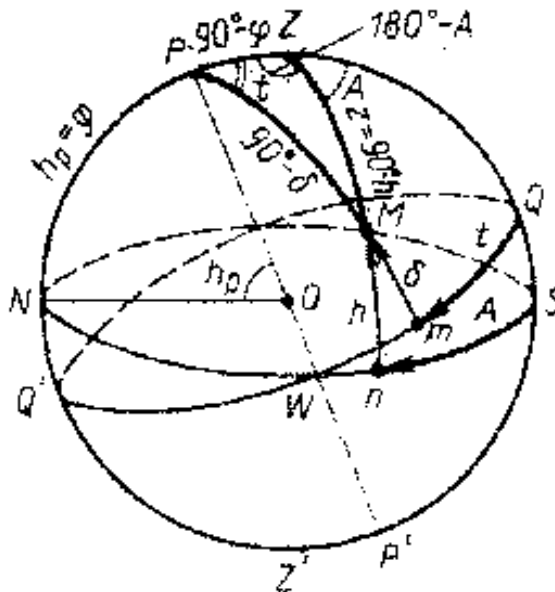


Рис.1

Для перетворення горизонтальних координат у екваторіальні застосовуємо основні співвідношення між сторонами і кутами сферичного трикутника до

$$\sin \alpha_{\oplus} = \frac{\operatorname{tg} \delta_{\oplus}}{\operatorname{tg} \varepsilon}$$

$$\cos \lambda_{\oplus} = -\cos \alpha_{\oplus} \cos \delta_{\oplus} \quad (4)$$

Ці формули дозволяють обчислити положення Сонця на екліптиці і завжди знати положення точки весняного рівнодення γ , не дивлячись на те, що ця точка на небі нічим не позначена. Значення δ знаходять, вимірюючи видиму зенітну віддаль центра Сонця в момент його верхньої кульмінації (з врахуванням рефракції):

$$\delta_{\oplus} = \varphi - z_{\oplus} \quad (5)$$

II. РОЗРАХУНКОВІ ЗАВДАННЯ

1. Визначити екваторіальні координати α і δ зірки на основі визначених для неї із спостережень горизонтальних координат A і h в Івано-Франківську на широті $\varphi = 49^{\circ}20'$ в момент зоряного часу s .

Варіант	A	h	s
1	24°31'	10° 12'	8 ^h 12 ^m 06 ^s
2	34° 20'	81° 06'	14 13 50
3	67° 08'	65° 00'	06 22 45
4	243° 43'	57° 31'	23 07 00
5	123° 43'	11° 32'	12 34 56
6	07° 54'	08° 00'	10 43 23
7	145° 23'	22° 22'	11 33 54
8	213° 59'	43° 65'	12 65 34
9	276° 58'	34° 12'	19 55 44
10	34° 76'	88° 88'	22 08 50
11	126° 54'	12° 08'	12 08 12
12	133° 08'	09° 34'	21 45 34
13	322° 54'	67° 47'	06 54 34
14	300° 45'	45° 34'	14 51 08
15	256° 34'	12° 55'	11 50 09
16	308° 12'	22° 43'	01 56 55
17	56° 33'	44° 44'	14 12 00
18	10° 20'	89° 59'	23 34 55
19	213° 45'	88° 37'	20 45 34
20	123° 55'	87° 34'	20 54 34
21	222° 54'	86° 56'	19 34 34
22	233° 43'	76° 45'	12 34 52

23	67° 56'	45° 34'	18 18 18
24	54° 34'	56° 25'	18 45 34
25	66° 45'	87° 45'	18 32 12
26	345° 45'	44° 33'	15 43 00
27	300 ° 00'	22° 33'	11 22 09
28	301° 44'	33° 56'	10 00 00
29	101° 20'	55° 44'	11 00 00
30	96° 35'	66° 00'	11 10 02
31	12° 33'	10°55'	00 ^h 33 ^m 21 ^s
32	12° 34'	10° 56'	00 31 32
33	12° 35'	10° 54'	19 08 56
34	12° 36'	10° 00'	14 00 09
35	13° 00'	10 ⁰ 01'	14 00 10
36	13° 01'	10° 02'	14 00 11
37	13° 02'	10° 03'	14 00 23
38	324° 56'	10° 05'	15 43 34
39	324° 55'	11° 54'	12 23 22
40	324° 45'	18° 18'	12 34 22
41	322° 45'	17° 32'	23 56 23
42	324° 54'	88° 56'	22 21 45
43	300° 56'	34° 56'	00 00 07
44	321° 56'	23° 55'	00 00 05
45	56° 45 ⁱ	22° 44'	00 03 12
46	00° 06'	34° 12'	00 07 45 .
47	56° 45'	76 ° 45'	07 34 23
48	123° 34'	88° 00'	04 23 12
49	234° 45'	12° 34'	12 12 12
50	100° 09	23° 22'	00 00 01
51	234° 13'	22° 12'	09 34 12
52	233° 45'	21° 20'	00 09 09
53	301° 23'	20° 21'	00 09 08
54	67° 56'	22 ° 45'	00 00 05
55	321° 45'	23° 22'	23 54 34
56	344° 54'	12° 32'	22 22 00
57	301° 23'	23° 00'	01 00 00
58	256° 11'	22° 00'	01 01 00
59	322° 01'	22° 22'	12 23 11
60	312° 34i	00° 08'	12 32 44

2. Обчислити зенітну віддасть і азимут зірки (значення α і β взяти із шкільного астрономічного календаря) для заданого моменту часу ($\varphi = 49^\circ 20'$).

Зірки	В	S	В	S	В	S
Альтаір	1	12 ^h 43 ^m 22 ^s	22	2 ^h 22 ^m 54 ^s	43	22 ^h 13 ^m 55 ^s
Антарес	2	3 56 00	23	16 23 34	44	6 23 44
Арктур	3	22 12 54	24	17 22 33	45	5 12 44
Бетельгейзе	4	00 45 00	25	18 12 00	46	3 12 03
Вега	5	12 22 33	26	19 12 00	47	1 11 00
Денеб	6	4 12 31	27	20 44 34	48	2 55 00
Капелла	7	7 12 00	28	12 44 23	49	3 12 34
Кастор	8	17 23 09	29	11 10 19	50	4 15 00
Поллукс	9	3 24 55	30	23 00 00	51	5 33 30
Полярна	10	22 00 00	31	0 00 02	52	6 12 00
Проціон	11	21 00 05	32	12 00 00	53	7 13 24
Регул	12	1 16 53	33	1 00 01	54	8 45 00
Ригель	13	2 45 23	34	14 44 32	55	9 00 00
Сіріус	14	15 23 12	35	17 57 00	56	10 10 00
Спіка	15	23 55 56	36	18 00 02	57	11 12 25
Альбірео	16	12 23 44	37	23 44 00	58	12 32 44
Фомальгаут	17	7 45 00	38	22 00 05	59	13 45 22
Міцар	18	12 33 00	39	21 00 03	60	14 04 00
Аламак	19	13 42 44	40	23 12 25		
Спіка	20	12 55 34	41	12 56 00		
Гемма	21	13 00 09	42	7 25 00		

3. Обчислити екваторіальні і екліптичні координати Сонця за його зенітною віддаллю, виміряною в справжній південь в Івано-Франківську ($\varphi = 49^\circ 20'$).

Варіант	Z	Варіант	Z	Варіант	Z
1	41° 20'	21	49° 27'	41	58° 50'
2	42° 35'	22	49° 35'	42	60° 02'
3	43° 24'	23	49° 55'	43	61° 23'
4	36° 45'	24	49° 00'	44	61° 34'
5	37° 56'	25	50° 00'	45	61° 48'
6	38° 44'	26	50° 09'	46	63° 00'
7	39° 56'	27	50° 25'	47	62° 45'
8	40° 22'	28	50° 56'	48	68° 45'
9	41° 23'	29	51° 00'	49	69° 12'
10	42° 30'	30	52° 34'	50	69° 56'
11	43° 28'	31	53° 45'	51	70° 00'
12	44° 55'	32	54° 00'	52	71° 23'

13	45° 00'	33	55° 00'	53	70° 08'
14	46° 12'	34	55° 20'	54	71° 56'
15	47° 33'	35	55° 23'	55	59° 44'
16	47° 59'	36	55° 46'	56	70° 45'
17	48° 03'	37	56° 12'	57	70° 55'
18	48° 30'	38	56° 30'	58	71° 00'
19	48° 50'	39	56° 49'	59	71° 04'
20	49° 12'	40	56° 50'	60	72° 00'

4. Провести аналіз одержаних результатів на моделі "Небесна сфера".

ЛІТЕРАТУРА

1. Андрієвський С. М., Климишин І. А. Курс загальної астрономії: Навчальний посібник. —Одеса: Астропринт, 2007. — 480 с.
2. Боярченко І. Ф., Гулак Ю. К., Раздемаха Г. С., Сандакова Е. В. Астрономія. К., 1976.
3. Бакулин П. И., Кононович Е. В., Мороз В. И. Курс общей астрономии. М., 1983.
4. Чепрасов В.Г. Практикум з курсу загальної астрономії. К., 1976.
5. Цесевич В. П. Что и как наблюдать на небе. М., 1984.
6. Климишин І. А. Історія астрономії. 2-ге, виправлене видання.— Івано-Франківськ: "Гостинець", 2006. – 652 с.
7. Климишин І. А. Календар і хронологія. - 5-е видання, доповнене. Івано-Франківськ, Гостинець, в-во Івано-Франківської Теологічної Академії, 2002. - 232 с
8. Андрієвський С. М., Кузьменков С. Г., Захожай В. А., Климишин І. А. Загальна астрономія: підручник — Харків : ПромАрт, 2019. — 524 с.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4
Тема: ОБЧИСЛЕННЯ ЧАСІВ І АЗИМУТІВ СХОДУ ТА ЗАХОДУ
СОНЦЯ.

Посібники і прилади: „Астрономічний календар”, „Шкільний астрономічний календар”, модель "Небесна сфера".

I. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ.

1. Вивчити:

а) Паралактичний трикутник, основні співвідношення між його сторонами і кутами.

б) Схід та захід світил. Визначення годинного кута і азимута, що відповідають моментам сходу і заходу світил.

в) Астрономічна рефракція та її вплив на видимі положення світил.

г) Справжній і середній сонячний часи. Рівняння часу. Місцевий і поясний час.

2. Пояснити і вивести робочі формули (1) - (5).

Для обчислення часів сходу і заходу світил використовуються сферичний трикутник на небесній сфері, вершинами якого є полюс світу P , зеніт Z і світило M . Цей трикутник називається першим астрономічним трикутником або паралактичним трикутником (рис.1).

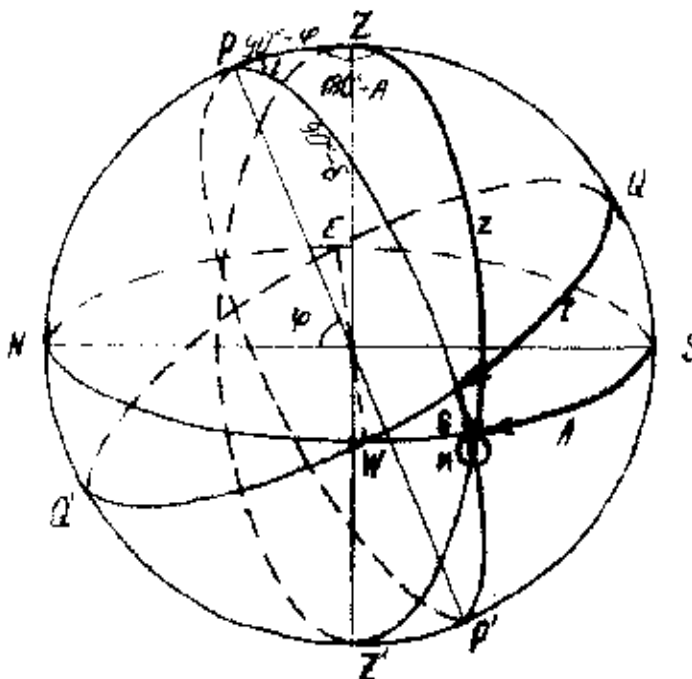


Рис.1

У момент сходу і заходу світила його видима зенітна віддаль $z=90^\circ$. Якщо врахувати астрономічну рефракцію, тоді справжня зенітна віддаль світила буде:
 $z = 90^\circ + \rho$

Для Сонця необхідно врахувати ще його видимий кутовий радіус R_Q .

В астрономічних календарях координати Сонця подаються для центра сонячного диску. Моментом сходу (заходу) Сонця вважається момент появи (зникнення) верхнього краю диска на горизонті. В цей момент центр Сонячного диску знаходиться нижче його верхнього краю на величину R_Q , тобто справжня зенітна віддаль центра Сонця буде:

$$z_Q = 90^\circ + \rho + R_Q \quad (1)$$

Застосувавши формулу косинусів до сторони ZM паралактичного трикутника знаходимо:

$$\cos t_Q = - (0,01483 / (\cos \delta_Q \cos \varphi_Q) + \operatorname{tg} \delta_Q \operatorname{tg} \varphi) \quad (2)$$

Формула (2) не враховує того, що схилення Сонця змінюється протягом доби. При точних обчисленнях необхідно визначити моменти сходу і заходу окремо, підставляючи спочатку у формулу (2) значення для сходу, а пізніше - значення, яке відповідає заходіві Сонця.

Для спрощеного визначення моментів сходу і заходу Сонця припускають, що схилення Сонця на протязі доби не змінюється і дорівнює його схиленню в середній південь. В астрономічному календарі-щорічнику схилення Сонця δ і його зміна за годину $\Delta\delta$ приводиться для середньої гринвіцької півночі, яка настає в інший фізичний момент, ніж середня північ на меридіані з довготою λ . Щоб перерахувати схилення Сонця з гринвіцького меридіану на заданий, використовують формулу:

$$\delta_Q = \delta + (12^h - \lambda^h) \Delta\delta^{//h} \quad (3)$$

де довгота береться у годинах і їх десятих долях. Наприклад:

$$\lambda = 2^h 15^m = 2^h,25; \lambda = 1^h 30^m = 1^h,50 \text{ і т.д.}$$

Аналогічно інтерполюється на середній південь і рівняння часу:

$$\eta = (\eta_0 + \eta_{24}) / 2 \quad (4)$$

де η_0 - значення рівняння на початок заданої доби, а η_{24} - на початок наступної доби. Формула (2) дає два значення годинного кута, одне з яких відповідає заходіві ($t_Q < 180^\circ$), а друге - сходові ($t_Q > 180^\circ$) Сонця.

Обчислення виконувати за схемою (зразок):

Київ: Дата:

Календарні дані вихідні дані

δ	=	δ_Q	=
$\Delta\delta$	=	η	=
η_0	=	φ	=
η_{24}	=	λ	=

РЕЗУЛЬТАТИ ОБЧИСЛЕНЬ:

$$T_{QE} = 12^h - t_Q^h$$

$$T_{QW} = 12^h + t_Q^h$$

$$T_{mE} = T_{QE}^h + \eta \quad (\text{Місцевий час сходу Сонця})$$

$$T_{mW} = T_{QW}^h + \eta \quad (\text{Місцевий час заходу Сонця})$$

$$T_{PE} = T_{mE}^h - \lambda^h + n^h \quad (\text{Поясний час сходу Сонця})$$

$$T_{PW} = T_{mW}^h - \lambda^h + n^h \quad (\text{Поясний час заходу Сонця})$$

$$\text{Тривалість дня } \Delta T = T_{PW} - T_{PE}$$

Для визначення азимутів точок сходу і заходу Сонця застосовують формулу косинусів до сторони РМ паралактичного трикутника. В результаті отримують формулу:

$$\cos A_Q = -0,01483 * \text{tg} \varphi + \sin \delta_Q / \cos \varphi \quad (5)$$

Якщо позначити через A'_Q значення кута A_Q в першій чверті, тоді в залежності від знаку \square_Q отримаємо шукані величини азимутів точок сходу і заходу Сонця:

$$A_{QW} = + A'_Q$$

$$A_{QE} = 360 - A'_Q$$

II. РОЗРАХУНКОВІ ЗАВДАННЯ.

1. Визначити поясні часи сходу і заходу Сонця, а також тривалість дня у:

Москві $(\lambda = 2^h 30^m 30^s, \varphi = 55^\circ 45')$,

Києві $(\lambda = 2^h 02^m 00^s, \varphi = 50^\circ 27')$,

а також у місцевостях, розміщених на московському або київському меридіанах на широтах:

а) московський меридіан φ	б) київський меридіан φ
50°	55°
45°	45°
40°	40°
35°	35°
30°	30°
25°	25°
20°	20°

2. Виходячи з отриманих в завданні 1 результатів, побудувати графіки залежності тривалості дня від географічної широти. При побудові графіка відкласти по осі ординат - тривалість дня в годинах, а по осі абсцис - широту. Зробити обґрунтовані висновки.

3. Скласти програму обчислень азимутів точок сходу і заходу Сонця і провести їх обчислення у відповідності до номера варіанту для Москви або Києва.

УВАГА!!! При парному номері варіанта роботи обчислення проводять для Москви і московського меридіану, при непарному для Києва і київського меридіану. Додаткові дані для Вашого варіанту взяти у керівника занять.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ.

1. Вивести на основі паралактичного трикутника формули (2) і (5).
2. Чому дорівнює справжня зенітна віддаль під час сходу:
 - а) зірки,
 - б) Сонця?
3. В чому полягає різниця між точним і спрощеним методами визначення часів сходу і заходу Сонця?
4. Які причини призводять до зміни рівняння часу, схилення і видимого діаметра сонячного диска?
5. Побудувати паралактичні трикутники для світил з координатами:
 - а) $\alpha = 9^{\text{h}}00^{\text{m}}$ б) $\alpha = 15^{\text{h}}00^{\text{m}}$ в) $\alpha = 22^{\text{h}}00^{\text{m}}$
 $\delta = 45$ $\delta = 30$ $\delta = 60$

ЛІТЕРАТУРА

1. Андрієвський С. М., Климишин І. А. Курс загальної астрономії: Навчальний посібник. —Одеса: Астропринт, 2007. — 480 с.
2. Боярченко І. Ф., Гулак Ю. К., Раздемаха Г. С., Сандакова Е. В. Астрономія. К., 1976.
3. Бакулин П. И., Кононович Е. В., Мороз В. И. Курс общей астрономии. М., 1983.
4. Чепрасов В.Г. Практикум з курсу загальної астрономії. К., 1976.
5. Цесевич В. П. Что и как наблюдать на небе. М., 1984.
6. Климишин І. А. Історія астрономії. 2-ге, виправлене видання.— Івано-Франківськ: “Гостинець”, 2006. – 652 с.
7. Климишин І. А. Календар і хронологія. - 5-е видання, доповнене. Івано-Франківськ, Гостинець, в-во Івано-Франківської Теологічної Академії, 2002. - 232 с
8. Андрієвський С. М., Кузьменков С. Г., Захожай В. А., Климишин І. А. Загальна астрономія: підручник — Харків : ПромАрт, 2019. — 524 с.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №5
Тема: РОЗРАХУНОК ЗОРЯНОГО ЧАСУ.

Посібники і прилади: "Астрономічний календар", „Шкільний астрономічний календар", модель "Небесна сфера".

ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ,

I. Вивчити:

1. Принципи вимірювання часу.
2. Зоряний час та його вимірювання.
3. Справжній і середній сонячний часи та їх визначення.
4. Рівняння часу.
5. Місцевий і поясний час.

II. Довести:

1. Різниця місцевих часів на різних географічних меридіанах дорівнює різниці довгот цих меридіанів.
2. Сонячна доба довша за зоряну добу на $3^m 56^s$.

При розв'язуванні багатьох астрономічних задач виникає необхідність у перетворенні однієї системи числення часу в іншу. Наприклад, перейти від зоряного часу до середнього (місцевого, поясного) і навпаки.

Введемо наступні позначення: буквою s будемо позначати місцевий зоряний час на заданому меридіані, тобто $s = \alpha + t$.

Буквою S будемо позначати зоряний час у Гринвічі в той же момент. Буквою s_0 домовимось позначати зоряний час опівночі, тобто в $0^h 00^m$ за середнім місцевим сонячним часом на даному меридіані. Буквою S_0 позначимо зоряний час опівночі на гринвіцькому нульовому меридіані (цей час приводиться в астрономічних календарях-щорічниках).

Розглянемо перетворення середнього місцевого часу в зоряний і навпаки.

Зоряний час S , що відповідає місцевому часові T_m визначаємо за формулою:

$$s = S_0 + T_m + 9,86^{s/h} * (T_m - \lambda)^h \quad (1)$$

де S_0 - зоряний час в 0^h всесвітнього часу. Різницю $T_m - \lambda$ треба брати в годинах, наприклад: $T_m - \lambda = 3^h 08^m 25^s = 3^h, 14$. Тоді

$$9^{s/h},86 * 3^h,14 = 31^s.$$

Середній місцевий час T_m , що відповідає зоряному часові знаходимо за формулою

$$T_m = s - S_0 - 9',86 * (s - S_0 - \lambda) \quad (2)$$

де вираз в дужках береться в годинах.

Перетворення середнього часу в зоряний, і навпаки, можна здійснити наближено без допомоги астрономічного календаря, якщо запам'ятати наступну таблицку:

	Дата	s_0
Осіннє рівнодення	23.09	0^h00^m
Зимове сонцестояння	22.12	6^h00^m
Весняне рівнодення	21.03	12^h00^m
Літнє сонцестояння	22.06	18^h00^m

і те, що зоряна доба є коротшою від середньої на $3^m 56^s \sim 4^m$. Розглянемо наближене перетворення часів на таких прикладах:

Приклад 1. Визначити зоряний час в середню північ

а) 25 квітня,

б) 15 червня.

Як видно з наведеної раніше таблиці перша дата є найближчою до весняного рівнодення і, отже, можемо записати для неї

$$S_{O_{2504}} = S_{O_{2103}} + 4^m * (25,04 - 21,03) = 12^h00^m + 4^m * 35 = 14^h20^m$$

Друга дата є найближчою до літнього сонцестояння і тому

$$S_{O_{1506}} = S_{O_{2206}} + 4^m * (22,06 - 15,06) = 18^h00^m - 4^m * 7 = 17^h32^m$$

Приклад 2. Визнайте зоряний час опівдні 15 червня.

Для його знаходження врахуємо, що від початку доби до півдня пройшло 12 середніх годин. Оскільки середня година є довшою від зоряної на 10^s , то інтервал зоряного часу δs , який відповідає інтервалові середнього часу $\Delta T = 12$ буде виражатись більшим числом годин:

$$\Delta S = 12^h + 12 * 10^s = 12^h + 120^s = 12^h02^m.$$

Таким чином, шуканий зоряний час буде

$$s = S_0 + \delta s = 17^h32^m + 12^h02^m = 29^h34^m = 5^h34^m.$$

Приклад 3. Визначити середній місцевий час 25 квітня, що відповідає зоряному часові $s = 20^h 20^m$.

Знаходимо інтервал зоряного часу

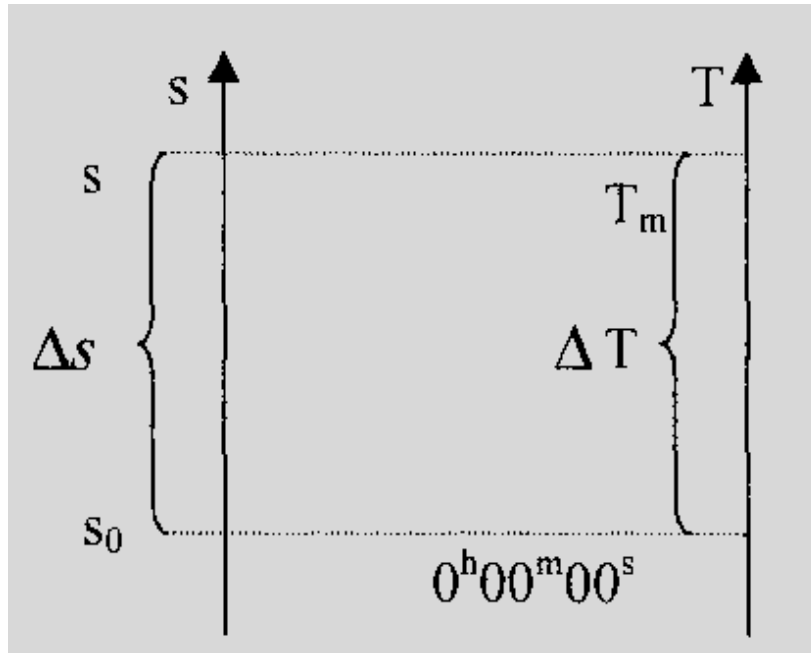
$$\Delta s = s - S_0 = 20^h20^m - 14^h20^m = 6^h00.$$

Через те, що зоряна година є коротшою від середньої години на 10^s , то інтервал середнього часу ΔT , що відповідає інтервалові зоряного часу ΔS , буде виражатись меншим числом годин:

$$\Delta T = 6^h00^m - 6 * 10^s = 5^h59^m.$$

Але $\Delta T = T_m - 0^h00^m = T_m$. Отже, 25 квітня о 20^h20^m за зоряним часом середній місцевий час буде 5^h59^m .

При використанні наближеного методу зручно для наочності використати схему зображену на рис. 1.



$$\Delta s = s - s_0$$

$$\Delta T = T^m - 0^h 00^m 00^s$$

$$\Delta T = \Delta s - \Delta s * 10^{s/h}$$

$$\Delta s = \Delta T + \Delta T * 10^{s/h}$$

Під малюнком ще раз виписані формули наближеного перетворення проміжку зоряного часу δs в проміжок середнього часу ΔT і, навпаки, ΔT в Δs .

РОЗРАХУНКОВІ ЗАВДАННЯ.

1. Обчислити у відповідності до заданого варіанту зоряний час у Івано-Франківську ($\lambda = 1^h 34^m 10^s$), що відповідає поясному часові T_p (Таблиця 1).
2. Обчислити місцевий та поясний час у Івано-Франківську, що відповідає зоряному місцевому часові для заданої дати (Таблиця. 2).
3. Користуючись наближеним способом перетворення часів визначити місцевий і поясний час у Івано-Франківську в момент верхньої кульмінації заданої зірки (Таблиця 3).
4. Користуючись наближеним способом перетворення часів, визначити дати, коли зірка, вказана у завданні 3, кульмінує за середнім місцевим часом: а) о півночі; б) о півдні; в) о 18 год.
5. Як зміниться результат завдання 4, якщо замість середнього місцевого часу взяти поясний ?

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ.

1. Дати означення зоряної доби. Як вимірюється зоряний час ?
2. Пояснити, чому сонячна доба є довшою за зоряну ?
3. Дати означення справжньої сонячної і середньої сонячної діб.
4. Дати означення місцевого, поясного, всесвітнього та ефемеридного часів і привести формули для їх обчислення.

5. Довести, що різниця місцевих часів дорівнює різниці довгот.
6. Як визначити без допомоги астрономічного календаря зоряний час для заданої дати і заданої години спостережень ?

ЛІТЕРАТУРА

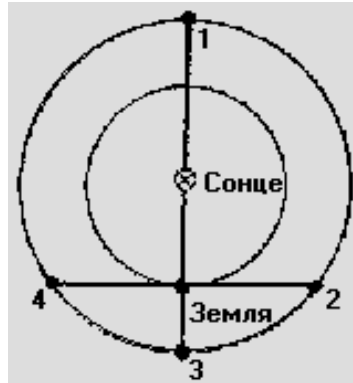
1. Андрієвський С. М., Климишин І. А. Курс загальної астрономії: Навчальний посібник. —Одеса: Астропринт, 2007. — 480 с.
2. Боярченко І. Ф., Гулак Ю. К., Раздемаха Г. С., Сандакова Е. В. Астрономія. К., 1976.
3. Бакулин П. И., Кононович Е. В., Мороз В. И. Курс общей астрономии. М., 1983.
4. Чепрасов В.Г. Практикум з курсу загальної астрономії. К., 1976.
5. Цесевич В. П. Что и как наблюдать на небе. М., 1984.
6. Климишин І. А. Історія астрономії. 2-ге, виправлене видання.— Івано-Франківськ: “Гостинець”, 2006. – 652 с.
7. Климишин І. А. Календар і хронологія. - 5-е видання, доповнене. Івано-Франківськ, Гостинець, в-во Івано-Франківської Геологічної Академії, 2002. - 232 с
8. Андрієвський С. М., Кузьменков С. Г., Захожай В. А., Климишин І. А. Загальна астрономія: підручник — Харків : ПромАрт, 2019. — 524 с.

(ТАБЛИЦІ 1 - 3)

№ п/п	Дата	ТАБЛИЦЯ 1	ТАБЛИЦЯ 2	ТАБЛИЦЯ 3
		T _n	s	Зірка
1	07.01	18 ^h 05 ^m 20 ^s	04 ^h 20 ^m 16 ^s	Альдебаран
2	08.02	16 17 41	07 18 24	Сиріус
3	15.08	22 08 47	09 23 29	Альтаір
4	08.04	15 31 16	10 13 26	Регул
5	19.12	02 41 19	12 14 21	Арктур
6	30.06	19 27 59	01 52 25	Полукс
7	24.02	15 16 25	05 51 18	Бетельгейзе
8	02.08	18 11 23	21 17 54	Кастор
9	13.07	21 05 18	22 42 16	Вега
10	07.11	08 16 21	21 15 10	Спіка
11	31.05	22 25 36	06 21 12	Денеб
12	21.04	23 37 18	02 41 29	Фомальгаут
13	29.06	19 16 27	05 17 26	Капела

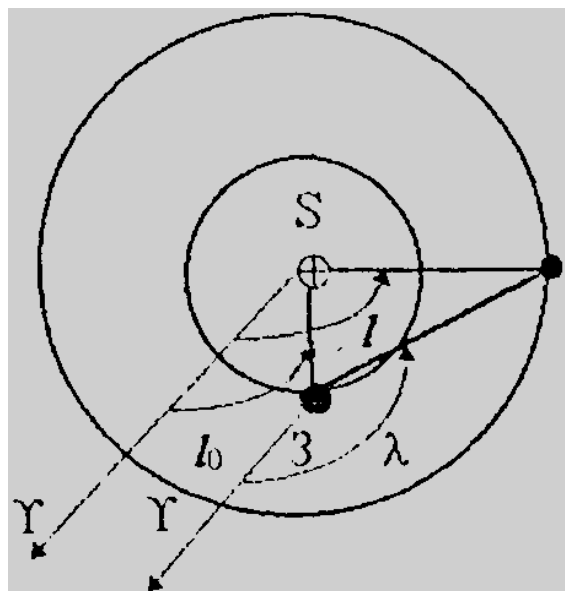
14	06.08	16 13 21	18 21 19	Проціон
15	13.09	21 14 39	23 31 16	Ригель
16	21.11	17 51 26	15 22 29	Арктур
17	23.05	19 24 53	19 59 27	Сіріус
18	18.10	21 18 19	02 19 41	Вега
19	10.06	23 16 31	16 15 31	Полукс
20	13.12	22 15 29	02 22 47	Антарес
21	05.01	01 05 55	23 01 30	Альдебаран
22	25.12	23 10 50	01 02 29	Альтаір
23	10.01	02 15 45	22 03 28	Антарес
24	20.12	22 20 40	02 04 27	Арктур
25	15.01	14 25 35	21 05 26	Бетельгейзе
26	15.12	21 30 30	03 06 25	Вега
27	20.01	14 35 25	20 07 24	Денеб
28	10.12	20 40 20	04 08 23	Капела
29	25.01	05 45 15	19 09 22	Кастор
30	05.12	19 50 10	05 10 21	Полукс
31	30.01	06 55 05	18 11 20	Полярна
32	01.12	18 30 00	06 12 19	Проціон
33	05.02	07 35 05	17 13 18	Регул
34	30.11	17 40 10	07 14 17	Ригель
35	10.02	08 45 15	16 15 16	Сіріус
36	25.11	16 50 20	08 16 15	Спіка
37	15.02	09 55 25	15 17 14	Фомальгаут
38	20.11	15 15 30	09 18 13	Альдебаран
39	20.02	10 20 35	16 19 12	Альтаір
40	15.11	14 25 40	10 20 11	Антарес
41	25.02	11 30 45	17 21 10	Арктур
42	10.11	13 35 50	11 22 09	Бетельгейзе
43	01.03	12 40 55	18 23 08	Вега
44	05.11	12 45 00	12 24 07	Денеб
45	10.05	13 50 05	19 25 06	Капела
46	10.07	11 55 10	13 26 05	Кастор
47	10.05	14 05 15	20 27 04	Полукс
48	15.07	12 10 20	14 28 03	Полярна
49	25.05	15 15 25	21 25 02	Проціон
50	25.07	13 20 30	15 30 01	Регул

1. Нижнє сполучення (н.с.)
 2. Західна елонгація (з.е.)
 3. Верхнє сполучення (в.с.)
 4. Східна елонгація (с.е.)
- Конфігурації верхніх планет:



1. Сполучення (с)
2. Західна квадратура (з.к.)
3. Протистояння (п)
4. Східна квадратура (с.к.)

2. Для визначення дат настання заданої конфігурації використовують геліоцентричні довготи планет. Під геліоцентричною довготою планети розуміють кут між напрямом з центра Сонця на точку весняного рівнодення і радіус-вектором планети.



Геліоцентрична довгота відраховується від прямої $S \square$ в напрямі, протилежному до руху стрілки годинника. Видимий з Землі кут, на який нижня планета відходить від Сонця, називається елонгацією і позначається буквою θ . Елонгація періодично змінюється від нуля до максимального значення. Максимальне значення кута може змінюватись в межах:

- а) для Меркурія $18 < \theta < 28$

3. Проміжок часу між двома однаковими послідовними конфігураціями називається синодичним періодом обертання планети і позначається буквою S . Якщо позначити через T сидеричний (зоряний) період обертання планети, а через T_{\oplus} - сидеричний період обертання Землі, то для будь-якої планети можемо записати рівняння синодичного руху:

$$\frac{1}{S} = \pm \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{\oplus}} \right) \quad (1)$$

Знак "+" відноситься до нижніх планет, а знак "-" до верхніх планет. При обчисленнях зручно покласти $T_{\oplus} = 1$, тоді отримаємо синодичний період S у роках. Щоб визначити його величину в добах, треба отримане значення помножити на $365^d,25$.

4. Для наближеного розрахунку дати настання заданої конфігурації планети припустимо, що:

а) планети рухаються по колових орбітах;

б) площини планетних орбіт співпадають з площиною екліптики.

Можна довести (доведіть!), що між геліоцентричними довготами Землі і планети мають місце наступні співвідношення:

а) нижніх планети

$$\begin{aligned} l - l_{\oplus} &= 0^{\circ} && \text{(н.с.)} \\ l - l_{\oplus} &= 90^{\circ} - \Theta && \text{(з.с.)} \\ l - l_{\oplus} &= 180^{\circ} && \text{(в.с.)} \\ l - l_{\oplus} &= -(90^{\circ} - \Theta) = 270^{\circ} + \Theta && \end{aligned} \quad (2)$$

б) верхні планети

$$\begin{aligned} l - l_{\oplus} &= 180^{\circ} && \text{(с.)} \\ l - l_{\oplus} &= -\arccos\left(\frac{a_{\oplus}}{a}\right) && \text{(с.к.)} \\ l - l_{\oplus} &= 0^{\circ} && \text{(п.)} \\ l - l_{\oplus} &= \arccos\left(\frac{a_{\oplus}}{a}\right) && \text{(з.к.)} \end{aligned} \quad (3)$$

де a - віддаль планети від Сонця в астрономічних одиницях.

Нехай для дати t_1 геліоцентрична довгота планети є l_0 , а Землі $l_{0\oplus}$. Позначимо через ω дугу в градусах, яку планета проходить по небесній сфері за добу. Відповідну дугу для Землі позначимо через ω_{\oplus} . Для нижніх планет $\omega > \omega_{\oplus}$, а для верхніх $\omega < \omega_{\oplus}$. В певний момент часу, який визначається датою t_2 , наступить шукана конфігурація планети, а геліоцентричні довготи Землі і планети будуть описуватись формулами:

$$\begin{aligned}
 l &= l_0 + \omega(t_2 - t_1) \\
 l_{\oplus} &= l_{0\oplus} + \omega_{\oplus}(t_2 - t_1)
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

де $t_2 - t_1$ - кількість діб, які пройшли від дати t_1 до дати t_2 . З різниці

$$l - l_{\oplus} = l_0 - l_{0\oplus} + (\omega - \omega_{\oplus})(t_2 - t_1)$$

знаходимо потрібну кількість діб (обмежитись цілими добами):

$$t_2 - t_1 = t = \frac{(l - l_{\oplus})(l_0 - l_{0\oplus})}{\omega - \omega_{\oplus}} \tag{5}$$

При обчисленнях необхідно підставляти значення, що відповідає заданій конфігурації (формули 2-3). Знайшовши t , визначаємо дату шуканої конфігурації:

$$t_2 = t + t_1 \tag{6}$$

Дати настання наступних конфігурацій t_3, t_4, t_5 , і т.д., легко знаходимо, додаючи по черзі до попередньої дати синодичний період S :

$$t_1 = t_2 + S$$

$$t_4 = t_3 + S \quad \text{і т.д.}$$

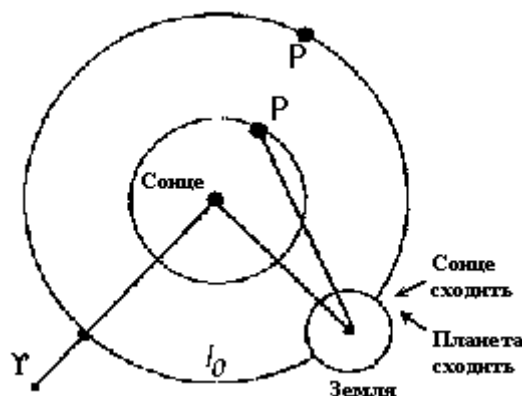
При обчисленнях зручно використовувати дні юліанського періоду.

5. Для визначення умов видимості планет використовують геоцентричні довготи. Під геоцентричною довготою планети розуміють кут з вершиною в центрі Землі, сторонами якого є напрям на точку весняного рівнодення і напрям Земля-планета. Геоцентрична довгота відраховується від напрямку на точку весняного рівнодення в сторону, протилежну до руху стрілки годинника.

Різниця геоцентричних довгот планети і Сонця $\Delta\lambda = \lambda - \lambda_{\oplus} = l - (l_{\oplus} + 180)$ дозволяє судити про умови видимості планети з Землі. Планета є видимою, якщо

$$\Delta\lambda \geq 10 \quad (\text{весна, осінь})$$

$$\Delta\lambda \geq 15 \quad (\text{зима, літо})$$



Такий розрахунок є наближеним, бо умови видимості планет залежать не тільки від віддалі планет від Сонця, але і від їх схилень та географічної широти місця спостереження, які впливають на тривалість присмерку і висоту планети над горизонтом.

Розрахункові Завдання

1. Визначити геліоцентричні довготи планет за їх конфігураціями (табл. 1).
2. Для заданих в завданні 1 конфігурацій визначити конфігурацію Землі з планети.
3. За відомими геліоцентричними довготами Землі і планети (табл.2) обчислити дату настання заданої конфігурації.
4. Обчислити синодичні періоди планети в роках і добах (табл.3 і 4).
5. Визначити до 2050 року дати настання заданих конфігурацій (табл.5), використовуючи числове значення синодичного періоду, отримане в завданні 4.
6. Використовуючи значення геліоцентричних довгот Землі і заданої планети приведені в завданні 3, зробити відповідний рисунок, на основі якого вяснити, коли видно планету (після заходу Сонця, перед сходом, чи на протязі всієї ночі).

ТАБЛИЦЯ №1

№ п/п	S	T	U	V
1	з.е.(18)	в.с.	з.к.	с
2	з.е.(17)	н.с.	с.к.	п
3	з.е.(19)	н.с.	з.к.	с.к.
4	з.е.(20)	н.с.	с.к.	з.к.
5	з.е.(21)	в.с.	з.к.	с
6	с.е.(22)	н.с.	з.к.	п
7	с.е.(23)	в.с.	п	с.к.
8	с.е.(24)	н.с.	с.к.	з.к.
9	с.е.(25)	в.с.	п	с
10	с.е.(26)	н.с.	з.к.	п
11	н.с.	з.е.(43)	с.к.	з.к.
12	н.с.	с.е.(45)	п	с.к.
13	н.с.	з.е.(44)	з.к.	с
14	н.с.	с.е.(46)	п	з.к.
15	н.с.	з.е.(47)	с.к.	п
16	в.с.	з.е.(43)	з.к.	с.к.
17	в.с.	с.е.(45)	с	п
18	в.с.	з.е.(44)	с.к.	з.к.
19	в.с.	с.е.(46)	с	с.к.
20	в.с.	з.с.(47)	с.к.	п
21	н.с.	з.е.(43)		з.к.
22	н.с.	с.е.(44)		з.к.
23	з.е.(18)	в.с.	п	с.к.
24	н.с.	с.е.(44)	с	з.к.
25	з.е.(20)	н.с.	п	с.к.
26	с.е.(18)	н.с.	с.к.	з.к.
27	н.с.	н.с.	с.к.	п
28	в.с.	н.с.	с.к.	с
29	в.с.	с.е.(45)	с.к.	п

30	В.с.	Н.с.	С.К.	С
31	В.с.	з.е.(44)	З.К.	П
32	В.с.	с.е.(48)	З.К.	С
33	с.е.(28)	В.с.	З.К.	С.К.
34	с.е.(20)	Н.с.	З.К.	П
35	с.е.(22)	з.е.(46)	З.К.	С.К.
36	с.е.(25)	с.е.(43)	С	С.К.
37	з.е.(18)	з.е.(47)	С	С.К.
38	з.е.(20)	с.е.(46)	С	З.К.
39	з.е.(22)	з.е.(43)	С	С.К.
40	з.е.(24)	с.е.(44)	С	З.К.
41	Н.с.	з.е.(45)	С.К.	П
42	Н.с.	с.е.(46)	С.К.	С
43	Н.с.	В.с.	С.К.	П
44	Н.с.	Н.с.	С.К.	С
45	Н.с.	з.е.(47)	З.К.	П
46	с.е.(20)	с.е.(48)	С.К.	С
47	з.е.(18)	Н.с.	З.К.	С.К.
48	с.е.(26)	В.с.	С.К.	З.К.
49	з.е.(28)	Н.с.	П	С.К.
50	с.е.(25)	В.с.	С	З.К.

ТАБЛИЦЯ. №2

№ п/п	Планета	Конфігурація	Дата	l_0	$l_{\oplus 0}$
1.	S	В.с.	3.08.85	291.8	310.1
2.	T	с.е.(47°)	— // —	26.2	— // —
3.	U	П	— // —	122.2	— // —
4.	w	С.К.	— // —	311.4	— // —
5.	S	з.е.(27)	— // —	291.8	— // —
6.	T	з.е.(46)	— // —	26.2	— // —
7.	S	Н.с.	2.10.85	211.7	8.3
8.	V	З.К.	— // —	316.6	— // —
9.	S	с.е.(23)	— // —	211.7	— // —
10.	T	с.е.(46)	— // —	122.8	— // —
11.	w	П	— // —	238.6	— // —
12.	X	С.К.	— // —	256.9	— // —
13.	T	з.е.(21)	1.12.85	79.3	68.2
14.	T	з.е.(46)	— // —	220.0	— // —
15.	U	З.К.	— // —	175.0	— // —
16.	V	П	— // —	321.9	— // —
17.	T	с.е.(18)	— // —	79.3	— // —

18.	X	П	— // —	257.6	— // —
19.	W	П	— // —	240.5	— // —
20.	V	с.к.	— // —	320.2	— // —
21.	S	з.е.(23)	15.01.85	223.7	114.3
22.	T	с.е.(47)	— // —	65.8	— // —
23.	U	П	— // —	18.1	— // —
24.	V	с.к.	— // —	294.2	— // —
25.	W	П	— // —	230.6	— // —
26.	X	с.к.	— // —	253.8	— // —
27.	Y	П	— // —	270.8	— // —
28.	S	з.е.(27)	25.04.85	257.5	214.3
29.	T	з.е.(46)	— // —	227.5	— // —
30.	U	с.к.	— // —	74.2	— // —
31.	V	П	— // —	302.8	— // —
32.	W	с	— // —	233.7	— // —
33.	X	з.к.	— // —	255.0	— // —
34.	Y	с	— // —	271.4	— // —
35.	S	з.е.(18)	12.09.85	127.7	348.7
36.	T	н.с.	— // —	90.4	— // —
37.	U	з.к.	— // —	140.0	— // —
38.	V	П	— // —	314.9	— // —
39.	W	з.к.	— // —	238.0	— // —
40.	X	П	— // —	256.6	— // —
41.	Y	з.к.	— // —	272.2	— // —
42.	S	з.е.(21)	11.11.85	333.2	48.0
43.	T	с.е.(47)	— // —	187.8	— // —
44.	U	П	— // —	166.2	— // —
45.	V	з.к.	— // —	320.3	— // —
46.	W	с.к.	— // —	239.9	— // —
47.	X	с	— // —	257.4	— // —
48.	Y	с.к.	— // —	272.6	— // —
49.	S	с.е.(18)	21.12.85	184.0	88.6
50.	T	з.е.	— // —	251.8	— // —

ТАБЛИЦА №3

№ n/n	Планет а	№ n/n	Планета	№ n/n	Плане та	№ n/n	Планет а
1.	<i>Церера</i>	14.	V	27.	U	40.	<i>Церера</i>
2.	S	15.	<i>Веста</i>	28.	V	41.	W
3.	T	16.	W	29.	W	42.	Z
4.	U	17.	X	30.	<i>Юнона</i>	43.	V
5.	<i>Палада</i>	18.	Y	31.	X	44.	W

6.	V	19.	Z	32.	Y	45.	Юнона
7.	W	20.	Церера	33.	Z	46.	U
8.	X	21.	U	34.	U	47.	T
9.	Y	22.	V	35.	Веста	48.	W
10.	Юнона	23.	X	36.	T	49.	V
11.	S	24.	Y	37.	V	50.	Веста
12.	T	25.	Палада	38.	W		
13.	U	26.	T	39.	U		

ТАБЛИЦЯ №4

Планета	T	ω (град/доба)
S	0.2408	4.9231
T	0.6152	1.60213
;	1.0000	0.98564
U	1.8808	0.52401
V	11.862	0.08314
W	29.457	0.03352
X	84.013	0.01173
Y	164.78	0.00601
[248.85	0.00400
Церера	4.601	0.21427
Палада	4.613	0.21380
Юнона	4.360	0.22606
Веста	3.631	0.27152

1. Андрієвський С. М., Климишин І. А. Курс загальної астрономії: Навчальний посібник. —Одеса: Астропринт, 2007. — 480 с.
2. Боярченко І. Ф., Гулак Ю. К., Раздемаха Г. С., Сандакова Е. В. Астрономія. К., 1976.
3. Бакулин П. И., Кононович Е. В., Мороз В. И. Курс общей астрономии. М., 1983.
4. Чепрасов В.Г. Практикум з курсу загальної астрономії. К., 1976.
5. Цесевич В. П. Что и как наблюдать на небе. М., 1984.
6. Климишин І. А. Історія астрономії. 2-ге, виправлене видання.— Івано-Франківськ: “Гостинець”, 2006. – 652 с.
7. Климишин І. А. Календар і хронологія. - 5-е видання, доповнене. Івано-Франківськ, Гостинець, в-во Івано-Франківської Теологічної Академії, 2002. - 232 с
8. Андрієвський С. М., Кузьменков С. Г., Захожай В. А., Климишин І. А. Загальна астрономія: підручник — Харків : ПромАрт, 2019. — 524 с.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №7

Тема: РУХ ШТУЧНИХ СУПУТНИКІВ ЗЕМЛІ

Посібники і прилади: „Астрономічний календар”, „Короткий астрономічний календар”, „Шкільний астрономічний календар”, модель „Небесна сфера”

I. ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Вивчити:

1. Закон всесвітнього тяжіння Задача двох тіл. Узагальнені закони Кеплера.
2. Елементи механіки реактивного руху. Формула Ціолковського.
3. Параметри та збурення орбіт штучних супутників Землі
4. Залежність траєкторії штучного супутника від початкових умов вільного польоту.
5. Перша і друга космічні швидкості (фізичний зміст, виведення формул).
6. Визначення періоду обертання штучного супутника Землі.
7. Використання штучних супутників для визначення мас небесних тіл.

Запуск штучного супутника Землі здійснюється за допомогою багатоступінчастої ракети, яка спочатку піднімається вертикально вгору, а пізніше розвертається у вертикальній площині і рухається у напрямі близькому до горизонтального. Після того як припинять роботу двигуни, остання ступінь ракети відділяється від супутника і супутник виходить на орбіту, форма якої залежить від швидкості запуску.

На рис. 1 зображена типова орбіта супутника. Буквами А і П позначені відповідно апогей і перигей орбіти. Площина орбіти перетинає екваторіальну площину по лінії вузлів. Точки перетину орбітою супутника екваторіальної площини називаються вузлами. У висхідному вузлі < супутник переходить із південної півкулі в північну, а в нисхідному > – навпаки.

Площина орбіти утворює з площиною земного екватора кут i , який називається нахилом орбіти. Якщо цей кут дорівнює нулеві, то така орбіта супутника називається екваторіальною; супутник увесь час рухається над екватором. Якщо нахил орбіти $i = 90^\circ$, то орбіта називається полярною; супутник проходить над земними полюсами (рис. 2).

Якщо рух супутника відбувається в цьому ж напрямі, що і обертання Землі, то таку орбіту називають – прямою. В протилежному випадку матимемо зворотню орбіту.

Важливими характеристиками орбіти є висота перигею $h_{\text{п}}$, висота апогею $h_{\text{а}}$ і період обертання супутника T , які, поряд з кутом нахилу площини орбіти до екватора i вказуються в офіційних повідомленнях про запуски супутників.

Якщо позначити радіус Землі через R , велику піввісь орбіти через a , а ексцентриситет орбіт через e , тоді, як видно з рисунка 6 отримаємо наступні залежності:

$$r_{\Pi} = R + h_{\Pi} \quad \alpha = R + \frac{h_{\Pi} + h_A}{2}$$

$$r_A = R + h_A \quad e = \frac{r_A - r_{\Pi}}{r_A + r_{\Pi}}$$

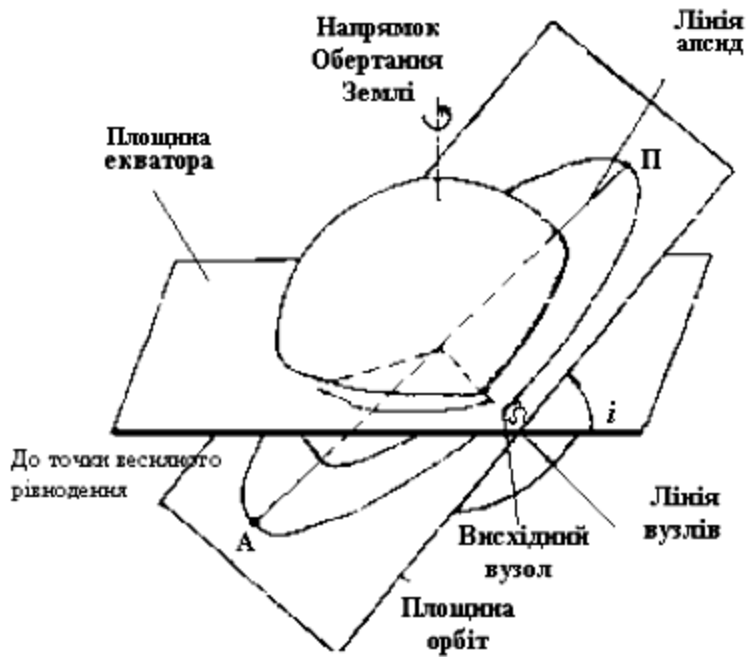


Рис 1. Орбіта супутника Землі

i – кут нахилу
 ω – довгота вузла

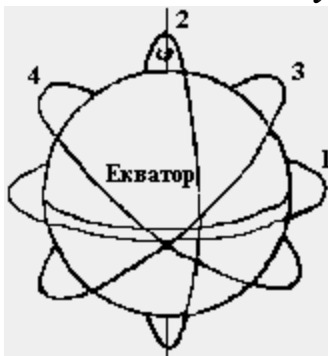


Рис 2. Орбіти супутників

- 1 – екваторіальна
- 2 – полярна
- 3 – пряма
- 4 – зворотня

Орбіта супутника в більшості випадків є еліптичною і безперервно змінюється – неначе “дихає” – витягується або скорочується, повертається в своїй площині. Причиною цих змін є те, що поле тяжіння Землі не є строго сферичним. Як відомо, форма Землі нагадує еліпсоїд обертання, у якого полярний радіус є приблизно на 21 км коротшим від екваторіального, тобто у Землі біля екватора є "надлишок" маси. Цей надлишок маси найсильніше впливає на положення орбіти супутника в просторі: площина орбіти не залишається нерухомою, а

безперервно повертається в просторі. Якщо провести перпендикуляр до цієї площини з центра Землі, то він буде описувати конус навколо земної осі (рис. 3). Таке явище називається прецесією. В результаті лінія вузлів безперервно повертається в сторону протилежну до напрямку руху супутника і супутник, здійснивши один оберт навколо Землі, перетне екватор у точці, розміщеній на захід в порівнянні із попередньою (рис.4).

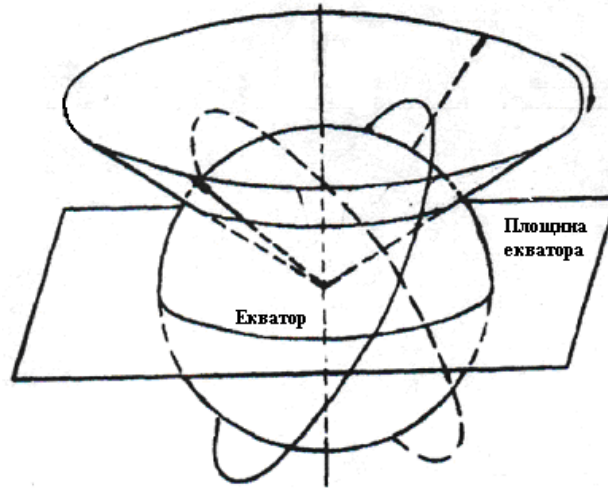


Рис. 3. Прецесія площини орбіти супутника

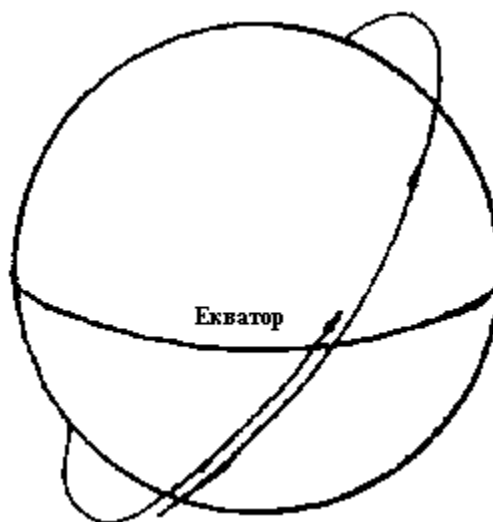


Рис.4. Зміщення висхідного вузла за один оберт супутника

Надлишок маси біля екватора приводить також до безперервного повертання великої осі орбіт в площині орбіти (рис. 5)

Якщо при запуску супутника перигей був розміщений в північній півкулі, то в кінці, він може опинитись в південній. При малих кутах нахилу площини орбіти (менше $63^{\circ},4$) перигей зміщується в сторону руху супутника, при великих ($63^{\circ},4$ і більше) в протилежну сторону.

Прецесія висхідного вузла $\Delta\Omega$ і переміщення перигею $\Delta\omega$ в площині орбіти обчислюються за формулами:

$$\Delta\Omega = -0,60 * \left[\frac{R}{\alpha * (1-e^2)} \right]^2 * n * \cos i \quad (1)$$

$$\Delta\omega = 0,30 * \left[\frac{R}{\alpha * (1-e)} \right] * n * (5 \cos^2 i - 1) \quad (2)$$

де n — число обертів.

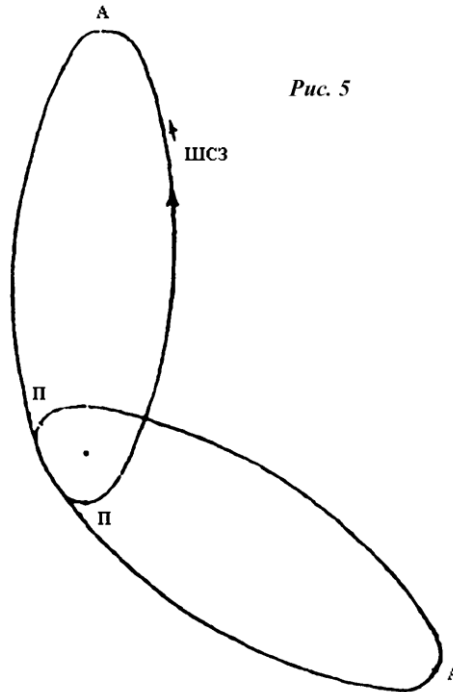


Рис. 5

Лінійна швидкість супутника в будь-якій точці його орбіти, що знаходиться на висоті h над поверхнею Землі визначається з інтеграла енергії для еліптичного руху

$$g_h^2 = f * M \left[\frac{2}{R+h} - \frac{1}{a} \right] \quad (3)$$

де f — гравітаційна стала
 M — маса Землі

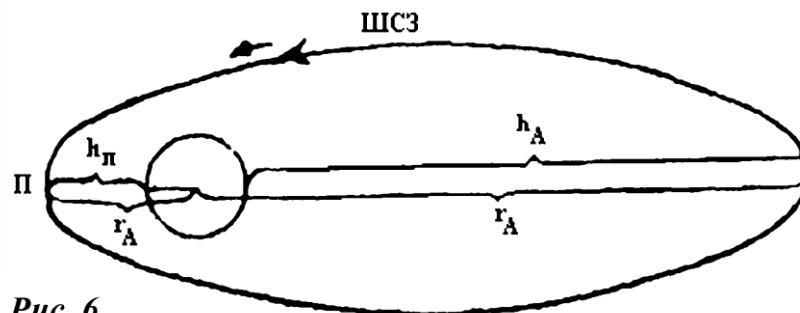


Рис. 6

Формула (3) однаково придатна як для штучних супутників Землі, так і для штучних супутників інших небесних тіл (Місяця, Марса, Венери, і т.д.). Якщо у формулі (3) масу небесного тіла виразити в масах Землі (приймаючи масу Землі за одиницю), R і h — у кілометрах, час — у секундах, а швидкість у км/с, тоді числове значення гравітаційної сталої буде:

$$f = 398350$$

Якщо запуск штучного супутника відбувається на колову орбіту, розміщену на висоті h над поверхнею Землі, тоді $a = R + h$ і на основі (3), знаходимо необхідну для цього швидкість запуску, тобто колову швидкість на висоті h :

$$g = \sqrt{\frac{f * M}{R + h}} \quad (4)$$

Величина швидкості g_{kh} на поверхні Землі ($h = 0$) називається коловою, або першою космічною швидкістю.

Для Землі $g_{ko} = 7.906$ км/с.

Якщо треба запуснути з висоти h над поверхнею Землі космічний апарат за межі притягання Землі ($a = \infty$), тоді потрібна швидкість запуску

$$(g_h)_a = g_{\Pi h} = \sqrt{\frac{2 * f * M}{R + h}} = \sqrt{2} g_{kh} \quad (5)$$

Швидкість g_{hn} , яку потрібно надати космічному апаратові на поверхні Землі ($h = 0$) називається параболічною або другою космічною швидкістю. Іноді для неї використовують і такі терміни „критична швидкість”, „швидкість звільнення”. Формула (5) дозволяє обчислити величину цієї швидкості для будь-якого небесного тіла на заданій висоті.

Рухаючись по еліптичній орбіті штучний супутник має максимальну швидкість у перигеї g_{Π} і мінімальну в апогеї g_A які визначаються на основі (3):

$$g_{\max} = g_{\Pi} = \sqrt{\frac{f * M}{a} * \frac{1 + e}{1 - e}}$$

$$g_{\min} = g_A = \sqrt{\frac{f * M}{a} * \frac{1 - e}{1 + e}} \quad (6)$$

Швидкість запуску супутника чисельно дорівнює його швидкості в перигеї:

$$g_{\text{зан}} = g_{\Pi}$$

Період обертання штучного супутника Землі визначається на основі III закону Кеплера.

$$\frac{T^2 * (M + m)}{\alpha^3} = \frac{4 * \pi^2}{f} \quad (7)$$

де m – маса супутника. Через те, що $m \ll M$, то

$$T = \frac{2 * \pi}{\sqrt{f}} * \frac{a \sqrt{a}}{\sqrt{M}} \quad (8)$$

або

$$T^m = 1,659 * 10^{-4} \frac{a \sqrt{a}}{\sqrt{M}} \quad (8)$$

Якщо взяти в останніх формулах масу " M " – в масах Землі, " a " – в кілометрах, тоді отримаємо час " T " – у хвиликах.

За відомим періодом обертання T і масою небесного тіла M легко обчислити велику піввісь орбіти супутника

$$\alpha = 331,2 \sqrt[3]{M * T^2} \quad (9)$$

З формули (8) можна визначити і масу небесного тіла, якщо відомі період обертання і велика піввісь орбіти супутника. Якщо треба визначити масу M в тонах, тоді:

$$M = 1,6446 \cdot 10^{14} \frac{a^3}{T^2} \quad (10)$$

де a – в км, T – у хвиликах.

Рухаючись по еліптичній орбіті, штучний супутник Землі зустрічає максимальний опір у перигеї орбіти, де густина атмосфери максимальна, а мінімальний – в апогеї (якщо апогей достатньо високий, то опір середовища можна вважати відсутнім).

Схематично можна собі уявити, що супутник під час кожного оберту один раз пірнає в більш густі шари атмосфери і, отже, виходить із них з меншою швидкістю, ніж входить. Тому його апогей знижується набагато сильніше, ніж перигей. Таким чином, з кожним новим обортом орбіта супутника все більш наближається до колової. Досягнувши її супутник продовжує спускатись по спіралі (Рис.7), витки якої з кожним обортом будуть наближатись до Землі. На висоті 110-120 км, де густина атмосфери різко зростає, супутник вже не може завершити черговий виток і його траєкторія викривляється в майже вертикальне падіння. Увійшовши в густі шари атмосфери, супутник згоряє і руйнується (якщо не були передбачені міри до його захисту).

Наближено „час життя” супутника в добах можна визначити за формулою

$$\tau^d = \frac{45 * e * T^m}{n * \Delta T} \quad (11)$$

де T^m – період обертання супутника в хвиликах

ΔT – зміна періоду обертання супутника за один оберт у сек.

n – кількість обертів супутника за одну добу:

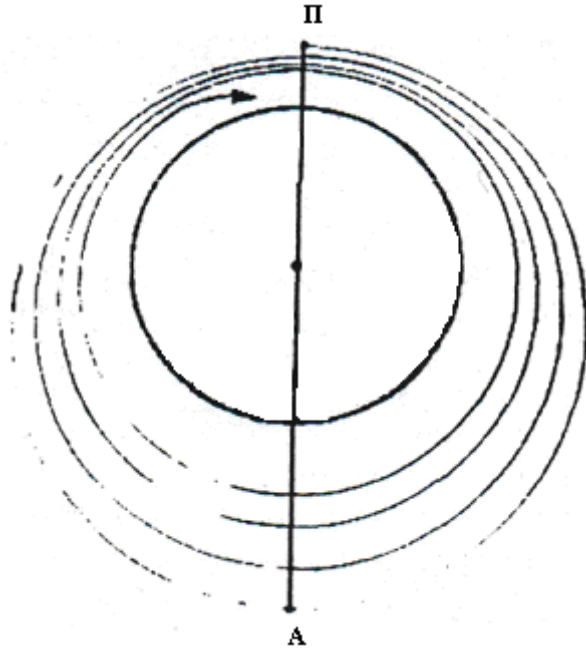
$$n = \frac{1440}{T^m}$$

Для супутників серії "Космос" у яких $h_{\Pi} > 180 \text{ km}$ $h_A < 360 \text{ km}$ зміна періоду за один оберт

$$\Delta T \approx 0^5,17$$

Для супутників серії „Молнія – 1”, „Молнія – 2”, „Молнія – 3” відповідно маємо:

$$\Delta T \approx 6^5,9 \quad \Delta T \approx 3^5,6 \quad \Delta T \approx 3^5,2$$



2. РОЗРАХУНКОВІ ЗАВДАННЯ

1. Для штучного супутника Землі обчислити елементи його орбіти: перигейну та апогейну віддалі, швидкість у перигеї та апогеї, прецесію висхідного вузла переміщення перигею за $n = 25, 50, 75, 100$ обертів, час життя, кількість обертів навколо Землі, дату згоряння і масу Землі в тонах. (Таблиця1).
2. Навколо небесного тіла обертається штучний супутник, максимальні і мінімальні віддалі якого від поверхні приведені в таблиці 2. Визначити його швидкості в пери- і апоцентрі, період обертання, масу небесного тіла і колову та параболічну швидкість на висоті h .

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Якими параметрами характеризуються форма і просторове розміщення орбіти штучного супутника.
2. Яких збурень зазнає орбіта супутника і як вони проявляються в русі супутника.
3. Як визначаються 1 і 2 космічні швидкості.
4. Як обчислити період обертання штучною супутника Землі.
5. Як визначити масу небесного тіла за допомогою штучного супутника.
6. Як змінюється рух супутника під впливом гальмування в земній атмосфері.
7. Як визначається час життя супутника.
8. Нарисувати орбіту космічного апарату, запущеного з Землі з другою космічною швидкістю.
- 9.

ЛІТЕРАТУРА

1. Андрієвський С. М., Климишин І. А. Курс загальної астрономії: Навчальний посібник. —Одеса: Астропринт, 2007. — 480 с.

2. Боярченко І. Ф., Гулак Ю. К., Раздемаха Г. С., Сандакова Е. В. Астрономія. К., 1976.
3. Бакулин П. И., Кононович Е. В., Мороз В. И. Курс общей астрономии. М., 1983.
4. Чепрасов В.Г. Практикум з курсу загальної астрономії. К., 1976.
5. Цесевич В. П. Что и как наблюдать на небе. М., 1984.
6. Климишин І. А. Історія астрономії. 2-ге, виправлене видання.— Івано-Франківськ: “Гостинець”, 2006. – 652 с.
7. Климишин І. А. Календар і хронологія. - 5-е видання, доповнене. Івано-Франківськ, Гостинець, в-во Івано-Франківської Теологічної Академії, 2002. - 232 с
8. Андрієвський С. М., Кузьменков С. Г., Захожай В. А., Климишин І. А. Загальна астрономія: підручник — Харків : ПромАрт, 2019. — 524 с.
9. Левантовський В.И. Механика космического полета. -М.: Наука, 1980.
10. Рябов Ю.А. Движение небесных тел. -М.: 1980.

ТАБЛИЦЯ №1

№	Супутник	Дата запуску	i	h_n (км)	h_a (км)	№	Супутник	Дата запуску	i	h_n (км)	h_a (км)
1	Космос - 727	16.04.75	65	180	358	26	Космос – 821	26.05.76	72,8	212	338
2	Молния -3	14.04.75	63	636	40660	27	Молния – 1	23.07.76	62,9	499	39056
3	Молния -1	29.04.75	63	468	40848	28	Космос – 848	12.08.76	62,8	214	325
4	Космос – 731	21.05.75	65	207	313	29	Молния – 2	02.12.76	62,8	657	40608
5	Молния – 2	06.02.75	62,8	640	40685	30	Молния – 3	28.12.76	62,8	640	40630
6	Космос – 750	28.05.75	65	181	347	31	Молния – 2	11.02.77	62,5	493	40757
7	Молния – 1	05.06.75	63	450	40890	32	Молния – 1	24.03.77	62,8	484	40816
8	Космос – 743	12.06.75	62,8	190	355	33	Молния – 3	28.04.77	62,8	467	40817
9	Молния – 2	08.07.75	62,8	465	40864	34	Космос – 908	17.05.77	51,8	180	307
10	Космос – 746	25.07.75	62,8	188	346	35	Молния – 1	24.06.77	62,9	480	39016
11	Молния – 1	02.09.75	62,8	639	40681	36	Молния – 1	30.08.77	62,8	480	40800
12	Космос – 758	05.09.75	67,2	181	351	37	Молния – 3	28.10.77	62,8	478	40964
13	Молния – 2	09.09.75	62,8	470	40836	38	Космос – 973	27.12.77	71,4	210	348
14	Космос –	16.09.75	65	181	355	39	Молния – 3	24.01.78	62,8	661	40631

	760										
15	Молния – 3	14.11.75	62,4	470	40830	40	Космос – 989	14.02.78	65	178	354
16	Космос – 780	21.11.75	65	206	398	41	Молния – 1	03.03.78	62,8	632	40733
17	Молния – 2	17.12.75	62,8	451	40836	42	Молния – 1	02.06.78	62,5	457	40837
18	Космос – 788	07.01.76	62,8	191	343	43	Молния – 3	13.10.78	62,8	467	40925
19	Молния – 1	22.01.76	62,5	491	38934	44	Космос - 1067	26.12.78	83	184	226
20	Космос – 799	29.01.76	71,4	210	328	45	Молния – 3	11.03.83	62,8	474	40773
21	Молния – 1	11.03.76	62,5	518	40863	46	Молния – 1	02.04.83	62,9	483	39023
22	Космос – 809	18.03.76	65	210	322	47	Молния – 1	19.07.83	62,9	480	39625
23	Молния – 1	19.03.76	63	494	38984	48	Молния – 1	23.11.83	62,8	465	39150
24	Космос – 810	26.03.76	62,8	188	358	49	Молния – 3	21.12.83	62,8	645	40635
25	Молния – 3	12.05.76	62,8	652	40660	50	Молния – 3	31.08.83	62,8	497	40815

ТАБЛИЦЯ №2

№	Небесне тіло	h_П	h_A	h (км)	№	Небесне тіло	h_П	h_A	h (км)
1	Місяць	326	511	10	26	Церера	18	52	20
2	Меркурій	120	320	20	27	Марс	340	424	200
3	Венера	340	524	300	28	Веста	27	32	15
4	Марс	116	285	50	29	Венера	645	930	600
5	Церера	64	12	10	30	Юнона	18	18	5
6	Палада	30	86	15	31	Меркурій	316	520	30
7	Веста	40	40	20	32	Місяць	102	124	40
8	Юнона	26	38	25	33	Палада	8	12	20
9	Місяць	10	35	20	34	Марс	960	1020	250
10	Меркурій	45	58	40	35	Юнона	44	62	15
11	Венера	780	30296	400	36	Венера	340	458	700
12	Марс	312	643	100	37	Веста	15	37	12,5
13	Церера	46	98	5	38	Місяць	900	900	50
14	Палада	35	72	7,5	39	Меркурій	140	182	150

15	Юнона	10	22	10	40	Церера	13	48	12,5
16	Веста	13	18	10	41	Юнона	17	52	20
17	Місяць	10	15	25	42	Марс	112	30842	300
18	Марс	138	196	150	43	Палада	46	48	5
19	Паллада	82	98	10	44	Венера	780	30296	800
20	Венера	711	2126	500	45	Веста	21	40	7,5
21	Церера	30	126	15	46	Місяць	361	1007	75
22	Меркурій	74	112	50	47	Меркурій	100	1740	125
23	Веста	54	69	5	48	Марс	123	202	400
24	Місяць	127	135	30	49	Венера	280	5340	900
25	Меркурій	196	270	70	50	Церера	760	98	17,5

ТАБЛИЦЯ №3

№	Планета	Маса (м)	R(км)
1	Меркурій	0,056	2430
2	Венера	0,815	6057
3	Земля	1,0	6378
4	Марс	0,106	3397
5	Місяць	0,0123	1738
6	Церера	1,96E-5	385
7	Палада	3,7E-6	245
8	Веста	3.98E-6	190
9	Юнона	2,06E-6	95

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №8

Тема: РОЗРАХУНОК МІЖПЛАНЕТНОГО КОСМІЧНОГО ПОЛЬОТУ

Посібники і прилади: "Астрономічний календар", "Шкільний астрономічний календар", модель "Небесна сфера", відповідне програмне забезпечення.

ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ:

1. Визначити

- 1) Оптимальні міжпланетні траєкторії.
 - 2) Наближений розрахунок швидкостей запуску космічного апарату з поверхні Землі до:
 - а) нижніх планет;
 - б) верхніх планет.
 - 3) Третя і четверта космічні швидкості та їх розрахунок.
 - 4) Визначення часу перельоту із Землі до планети-цілі.
 - 5) Розрахунок дат:
 - а) старту космічного корабля з навколо земної орбіти;
 - б) прибуття до планети-цілі;
 - в) старту з навколо планетної орбіти;
 - г) повернення на Землю.
2. Вивести формули для визначення гео- та геліоцентричних швидкостей виходу із зони дії Землі.

Шлях, який описується космічним апаратом в космосі, називається траєкторією або орбітою. Всі можливі форми траєкторій можна розділити на чотири групи:

- а) прямолінійні
- б) еліптичні
- в) параболічні
- г) гіперболічні.

Рух по прямій лінії відбувається, якщо тіло падає до центра притягання або рухається в прямо протилежному напрямі, тобто коли швидкість є радіальною. В усіх інших випадках прямолінійний рух неможливий.

Існує нескінченно велика кількість траєкторій, по яких можна здійснити політ з Землі до заданої планети Сонячної системи. Ці траєкторії різні за формою, за тривалістю перельоту, за енергетичними затратами на одиницю навантаження (або те саме, що за величиною швидкості запуску), за вимогами до точності систем керування, за фізичними умовами в навколишньому просторі. Всі ці фактори не рівнозначні, і їх роль істотно змінюється в залежності від того чи здійснюється політ автоматичного космічного апарату, чи йдеться про політ міжпланетного корабля з людьми на борту.

Точний розрахунок траєкторії польоту космічного апарату є дуже складним. Щоб його провести, треба врахувати багато факторів, таких як збурення зі сторони Сонця, Землі і планет, наявність градієнту сонячної гравітації, відхилення параметрів орбіти в результаті неминучих похибок при запускові,

нахил планетної орбіти до площини екліптики, взаємне розміщення Землі і планети-цілі і т.д.

В даній роботі ми розглядатимемо наближений розрахунок, який дозволяє шляхом нескладних обчислень отримати важливі закономірності і характеристики польоту. Для спрощення зробимо наступні припущення. Будемо вважати, що:

- а) орбіти всіх планет колові;
- б) площини всіх планетних орбіт співпадають з площиною екліптики,
- в) орбіта космічного апарату є екліптичною і дотикається орбіти Землі і планети-цілі.

Такі орбіти називаються гоманівськими (на честь П.Гомана, який вперше запропонував їх) або півеліптичними (рис.1). Запуски космічних апаратів по гоманівських орбітах вимагають найменших затрат енергії, оскільки космічні кораблі в цьому випадку більшу частину часу здійснюють вільний рух в полі тяжіння Сонця. Саме тому оптимальними міжпланетними траєкторіями космічних апаратів є напівеліптичні орбіти.

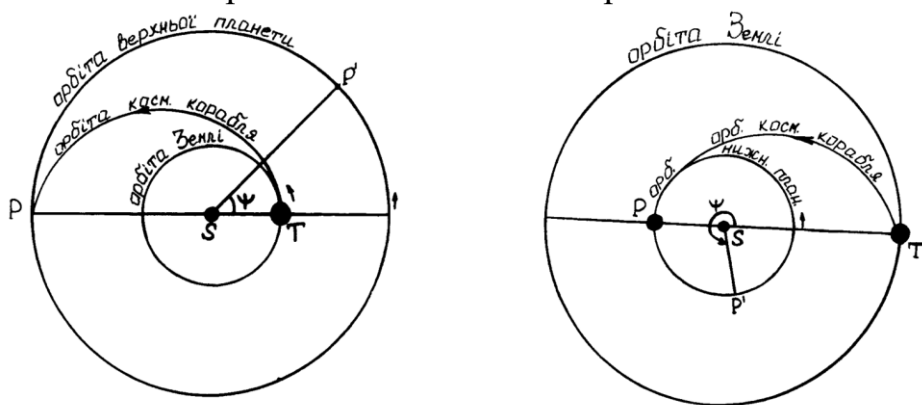


Рис. 1

Початковий етап руху космічного апарату відбувається всередині сфери дії Землі. Під сферою дії Землі (як і будь-якої іншої планети) відносно Сонця розуміють ту область простору навколо Землі, в якій основну роль відіграє притягання Землі, а притяганням зі сторони Сонця можна знехтувати. Радіус сфери дії Землі відносно Сонця дорівнює 930000 км., сфери дії Місяця відносно Землі - 66000 км., сфери дії Сонця відносно галактики (припускаючи, що вся маса зосереджена в її центрі - 60000 а.о , або $9 \cdot 10^{12}$ км.

Траєкторію космічного апарату можна поділити на 2 частини - активну і пасивну. Активну частину космічний апарат проходить за лічені хвилини, піднімаючись на декілька сот кілометрів над поверхнею Землі. Пасивну частину траєкторії космічного апарату поділяють на три ділянки:

- а) від точки виключення ракетних двигунів до межі дії планети-цілі;
- б) від межі сфери дії Землі до межі сфери дії планети-цілі;
- в) всередині сфери дії планети-цілі

На першій з цих ділянок - від моменту старту до межі сфери дії Землі рух космічного апарату може розглядатись з різних точок зору, у двох різних системах відліку. В системі координат з початком в центрі Землі і осями, що

поступово переміщуються (осі постійно спрямовані на одні і ті ж нерухомі зірки), космічний апарат описує ГЕОЦЕНТРИЧНУ ТРАЄКТОРІЮ (рис.2).

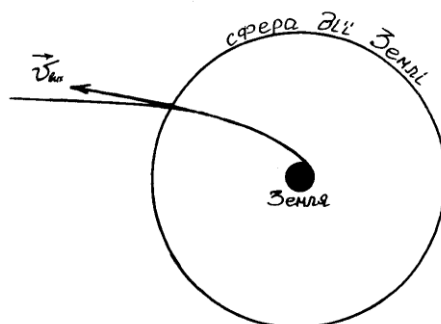


Рис.2

Одночасно в системі координат із початком в центрі Сонця і осями, спрямованими на нерухомі зірки, космічний апарат описує ГЕЛІОЦЕНТРИЧНУ ТРАЄКТОРІЮ (рис.3). За декілька днів, на протязі яких космічний апарат проходить віддалі до межі сфери дії Землі, сама Земля пройде по орбіті навколо Сонця багато мільйонів кілометрів (за добу Земля проходить 2,6 млн. км), переміщуючись з точки 1 в точку 2. Даліше будемо геоцентричні швидкості позначати маленькою буквою v , а геліоцентричні великою буквою V

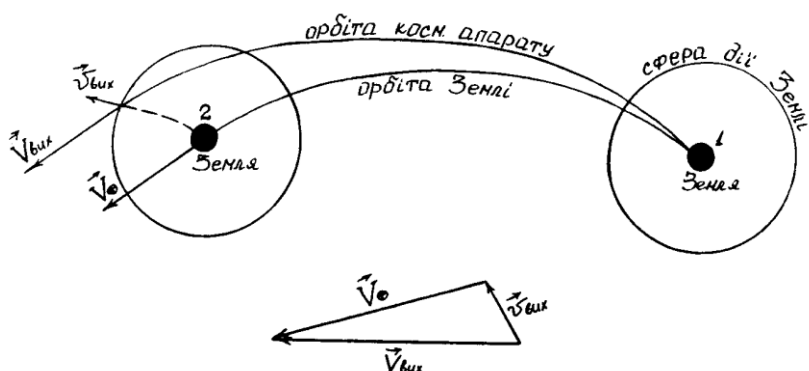


Рис. 3

При зростанні віддалі від Землі геоцентрична швидкість космічного апарату безперервно зменшується. Позначимо через v^\oplus геоцентричну швидкість при виході із сфери дії Землі. Тоді

$$\vec{v}_{вих} = \vec{V}_{вих} - \vec{V}_\oplus \quad (1)$$

де $\vec{V}_{вих}$ - геліоцентрична швидкість виходу, \vec{V}_\oplus - геліоцентрична швидкість Землі.

При наближених розрахунках кут між $\vec{v}_{вих}$ та $\vec{V}_{вих}$ вважають малим і геоцентричну швидкість виходу знаходять так:

$$v_{вих} = V_{вих} - V_\oplus \quad (2)$$

При польотах до зовнішніх планет:

$$v_{вих} = V_{вих} - V_\oplus > 0 \quad (3)$$

При польотах до внутрішніх планет:

$$v_{вих} = V_{вих} - V_\oplus < 0 \quad (4)$$

Геліоцентрична швидкість виходу обчислюється за формулою:

$$V_{вих} = V_{П\oplus} \sqrt{\frac{a_{П\Lambda}}{a_{\oplus} + a_{П\Lambda}}}$$

яку легко одержати з інтегралу енергії в геліоцентричній системі відліку.

Тут $V_{П\oplus}$ - параболічна швидкість на середній відстані Землі від Сонця:

$$V_{П\oplus} = V_{\oplus} * \sqrt{2} = 29,785 * \sqrt{2} = 42,122 \text{ км/с}$$

a_{\oplus} - велика піввісь земної орбіти ($a_{\oplus} = 1$ а.о.),

$a_{П\Lambda}$ - велика піввісь орбіти планети-цілі

При $V_{вих} < V_{\oplus}$ отримуємо орбіти штучних планет. При цьому можливі наступні випадки.

а) $\vec{V}_{вих}$ співпадає за напрямом із швидкістю \vec{V}_{\oplus} . Тоді $V_{вих} > V_{\oplus}$, а отже, орбіта штучної планети буде розміщена ззовні орбіти Землі: її перигей знаходиться на орбіті Землі (рис.4).

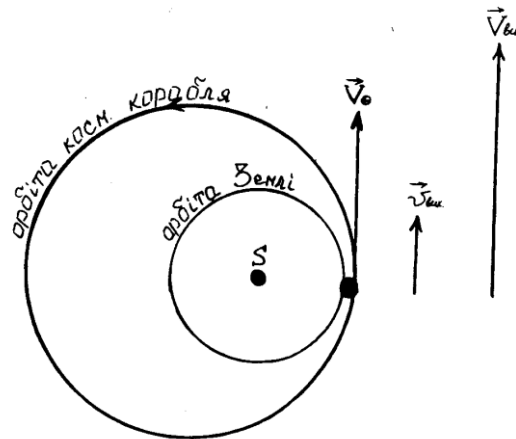


Рис 4

б) $v_{вих} = 0$, тоді $V_{вих} = V_{\oplus}$ і орбіта штучної планети співпадає з орбітою Землі (рис.5).

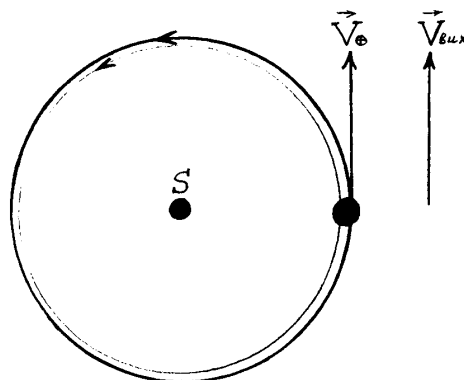


Рис. 5

в) геоцентрична швидкість виходу $\vec{v}_{вих}$ напрямлена в сторону, прямо протилежну швидкості Землі \vec{V}_{\oplus} . Тоді $V_{вих} < V_{\oplus}$ і орбіта штучної планети

розміщена всередині орбіти Землі, а її афелій знаходиться на орбіті Землі (рис.6)

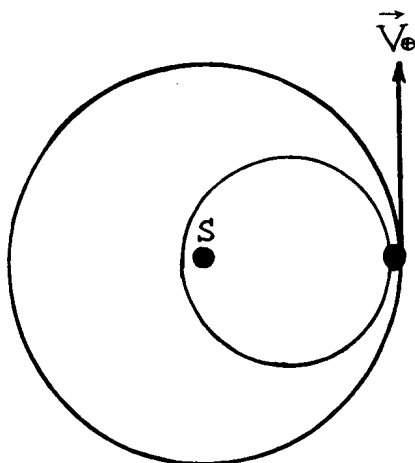


Рис. 6

г) швидкість $v_{вих} = \vec{V}_{\oplus}$, причому $\vec{V}_{вих}$ прямо протилежна \vec{V}_{\oplus} . В цьому випадку $V_{вих} = 0$ і орбіта штучної планети вироджується в радіальну пряму падіння на Сонце, яке (падіння) триватиме 64 доби (рис. 7)

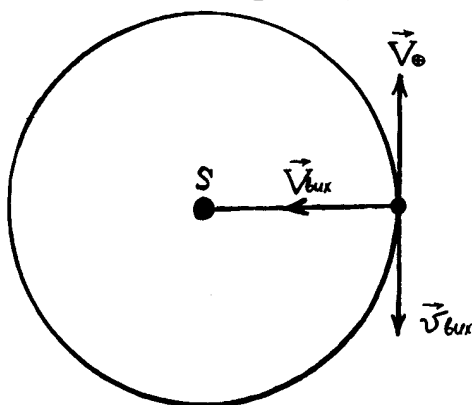


Рис. 7

Швидкість запуску космічного корабля з висоти h над поверхнею Землі визначається із виразу.

$$v_{зан} = \sqrt{v_{Пh}^2 + v_{вих}^2} \quad (6)$$

що випливає з закону збереження енергії.

$$v_{Пh} = v_{kh} * \sqrt{2} \quad \text{- параболічна швидкість на висоті } h.$$

$$v_{kh} = \sqrt{\frac{f * M}{R + h}} \quad \text{- колова швидкість на висоті } h.$$

Тут R і h в км, M - в масах Землі, $f = 398350$. Для Землі $v_{П} = 11,186$ км (для $h = 0$)

Щоб вивести космічний корабель з поверхні Землі ($h = 0$) за межі Сонячної системи, потрібна швидкість виходу

$$v_{вих} = V_{П\oplus} - V_{\oplus} = 42,122 - 29,785 = 12,337 \text{ (км/с)}$$

Тоді

$$(v_{zan})_{h=0} = \sqrt{11,186^2 + 12,337^2} = 16,659 \text{ км/с} = v_{III} \quad (7)$$

Така швидкість називається третьою космічною швидкістю. Таким чином, ТРЕТЬОЮ КОСМІЧНОЮ ШВИДКІСТЮ називається швидкість, яку треба надати космічному апаратові на поверхні Землі, щоб він вийшов за межі Сонячної системи.

Щоб космічний апарат упав на Сонце, потрібна швидкість запуску:

$$(v_{zan})_{h=0} = \sqrt{11,186^2 + 29,785^2} = 31,816 \text{ км/с} = v_{IV} \quad (8)$$

Її називають четвертою космічною швидкістю. Отже ЧЕТВЕРТОЮ КОСМІЧНОЮ ШВИДКІСТЮ називається така швидкість, яку треба надати космічному апаратові на поверхні Землі, щоб він упав на Сонце.

"Впасти на Сонце" набагато важче, ніж назавжди залишити його поле тяжіння. Сучасна ракетна техніка такої швидкості досягти не може.

Дуже зручним є запуск космічного апарату з проміжної колової орбіти, яка знаходиться на висоті h над поверхнею Землі. В цьому випадку швидкість сходу з колової на міжпланетну орбіту визначається за формулою:

$$\Delta v = v_{zanh} - v_{kh} = \sqrt{v_{IIh}^2 + v_{вих}^2} - v_{kh} \quad (9)$$

Час перельоту космічного апарату з Землі до планети-цілі визначається на основі третього закону Кеплера для системи тіл Сонце- Космічний апарат і Сонце-Земля:

$$\frac{T_{ka}^2}{T_{\oplus}^2} = \frac{a_{ka}^3}{a_{\oplus}^3} \quad (10)$$

Прийнявши $T_{\oplus} = 1$ і $a_{\oplus} = 1$ а.о. отримуємо період обертання космічного апарату навколо Сонця в роках:

$$T_{ka} = a_{ka} \sqrt{a_{ka}} = \frac{\sqrt{2}}{4} (1 + a_{nл}) \sqrt{1 + a_{nл}}$$

Час перельоту $T_{nep} = \frac{T_{ka}}{2}$ буде виражатись формулами:

$$T_{nep}^a = \frac{\sqrt{2}}{8} (1 + a_{nл}) \sqrt{1 + a_{nл}} \quad (\text{зоряних років})$$

або

$$T_{nep}^d = T_{nep}^a * 365,25 \quad (\text{середніх сонячних діб})$$

Запуск космічного апарату до вибраної планети можливий не завжди, а лише при певному взаємному розміщенні Землі і планети відносно Сонця, тобто при певній планетній конфігурації, яка дозволяє здійснити заданий політ. Планетні конфігурації повторюються через s діб, де s - синодичний період планети. Якщо дата заданої конфігурації відома, то дату наступної знаходимо, додаючи до попередньої дати синодичний період s .

На рис. 1 зображені положення внутрішньої (P) і зовнішньої (P') планети в момент старту космічного апарату з Землі. Кут $P' s T = \phi$ називається кутом початкової конфігурації і визначається за формулою:

$$\phi = 180^\circ - \alpha \quad (11)$$

де $\alpha = T_{\text{пер}}^d - \omega$ - дуга орбіти, яку проходить планета за час польоту космічного апарату.

Для внутрішніх планет цей кут від'ємний - ці планети в момент старту знаходяться позаду Землі, а не попереду, як зовнішні планети.

Дата старту космічного апарату з Землі вибирається за τ діб до протистояння /при польотах до зовнішніх планет/ або до нижнього сполучення /при польотах до внутрішніх планет/. Час τ визначається за формулою:

$$\tau = \frac{\phi}{\omega_{\oplus} - \omega_{\text{пл}}} \quad (12)$$

де ω_{\oplus} і $\omega_{\text{пл}}$ - дуги, які описують Земля і планета-ціль за 1 добу. Вони виражаються в долях градуса і мають розміреність $[\omega] = [\text{град/доба}]$.

Формули 11 - 12 дійсні і при визначенні дати старту космічного апарату з навколо планетної орбіти при поверненні на Землю, якщо поміняти індекси Землі і планети.

В даній роботі будемо розглядати запуск космічного корабля з космонавтами на борту до заданої планети-цілі по гоманівській (напівеліптичній) орбіті. Після досягнення сфери дії планети космічний корабель виводиться на колову орбіту штучного супутника планети, який знаходиться на висоті h над планетою. Енергетичні затрати і динаміка такого переходу на колову орбіту в цій роботі не розглядається. Після виконання завдань з дослідження заданої планети, космічний корабель стартує з навколопланетної орбіти в напрямі до Землі. Номограма такого польоту від старту з Землі до повернення на Землю /для зовнішньої планети/ зображена рис.8.

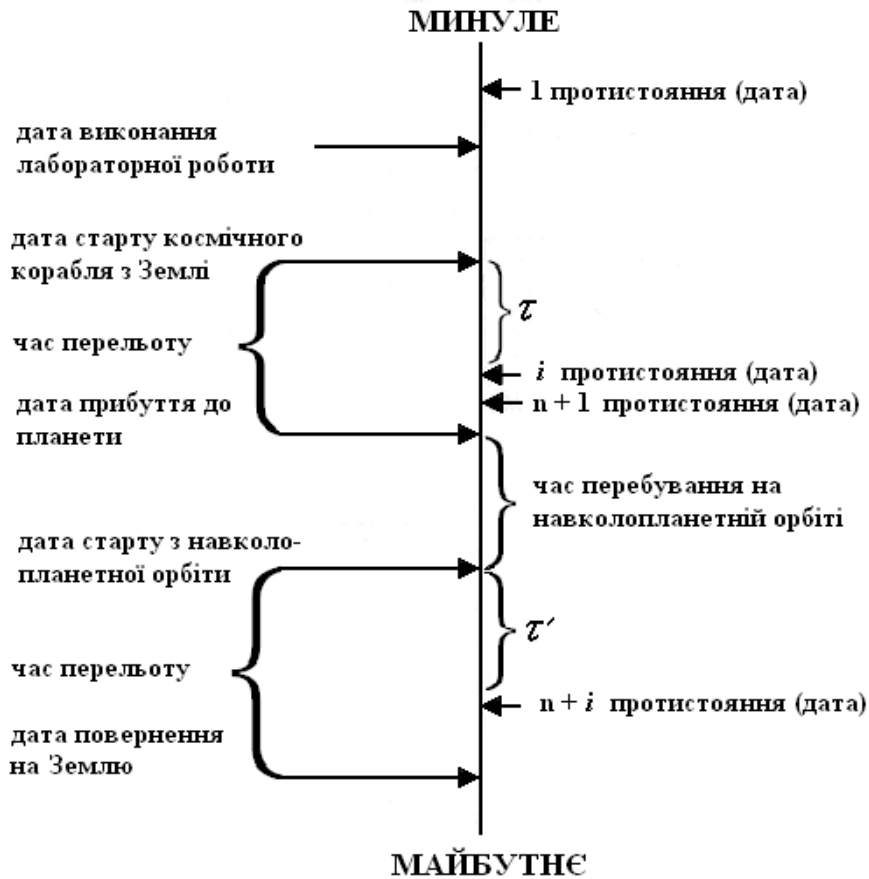


Рис.8

РОЗРАХУНКОВІ ЗАВДАННЯ

1. У відповідності із заданим варіантом роботи визначити колову і параболічну швидкості на висоті h над поверхнею Землі, гео- і геліоцентричні швидкості виходу, а також швидкості запуску з поверхні Землі і з проміжної колової орбіти, розміщеної на висоті h над Землею, космічного апарату, запущеного до заданої планети-цілі.
2. Визначити тривалість перельоту по напівеліптичній орбіті з Землі до планети-цілі.
3. Визначити кут конфігурації планети-цілі, накреслити взаємне розміщення Землі і планети в момент старту космічного корабля з Землі.
4. Визначити дату старту космічного корабля з Землі, дату прильоту до планети, дату відльоту з навколопланетної орбіти, час перебування на орбіті і дату повернення на Землю. При розрахунках використати дні юліанського періоду.
5. Визначити період обертання космічного корабля навколо планети по коловій орбіті, розміщеній на висоті h над планетою.
6. Визначити кількість обертів, яку зробить космічний корабель за час перебування на навколопланетній орбіті.
7. Визначити колову і параболічні швидкості для планети-цілі на висоті h , а також швидкість виходу із сфери дії цієї планети.
8. Визначити швидкість сходу космічного корабля з колової орбіти навколо планети-цілі на міжпланетну при поверненні на Землю.

9. Визначити повну тривалість експедиції в роках і добах.
10. Перерахувати основні перешкоди, які треба подолати людині щоб політ до заданої планети став реальністю. Зробити обґрунтовані висновки про можливість польоту людини до заданої планети.

ПРИМІТКА. Період обертання космічного корабля навколо планети по коловій орбіті визначається за формулою:
$$T^m = 1,659 * 10^{-4} * \frac{(R+h) * \sqrt{R+h}}{\sqrt{M}}$$

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ.

1. Назвати всі основні форми траєкторій космічних тіл.
2. Які спрощення використовуються при наближених розрахунках польотів міжпланетних космічних кораблів
3. Що називається сферою дії планети відносно Сонця?
4. На які ділянки умовно можна поділити траєкторію міжпланетного космічного апарату?
5. Пояснити геоцентричну і геліоцентричну траєкторію космічного апарату.
6. Як визначається геоцентрична і геліоцентрична швидкості виходу?
7. Дати означення і вказати, як знайти третю і четверту космічну швидкість
8. Які орбіти можуть мати штучні планети?
9. Як визначити швидкість сходу з колової орбіти на міжпланетну ?
10. Як знайти кут початкової конфігурації ω л дату старту міжпланетного корабля?

ЛІТЕРАТУРА

1. Андрієвський С. М., Климишин І. А. Курс загальної астрономії: Навчальний посібник. —Одеса: Астропринт, 2007. — 480 с.
2. Боярченко І. Ф., Гулак Ю. К., Раздемаха Г. С., Сандакова Е. В. Астрономія. К., 1976.
3. Бакулин П. И., Кононович Е. В., Мороз В. И. Курс общей астрономии. М., 1983.
4. Чепрасов В.Г. Практикум з курсу загальної астрономії. К., 1976.
5. Цесевич В. П. Что и как наблюдать на небе. М., 1984.
6. Климишин І. А. Історія астрономії. 2-ге, виправлене видання.— Івано-Франківськ: "Гостинець", 2006. – 652 с.
7. Климишин І. А. Календар і хронологія. - 5-е видання, доповнене. Івано-Франківськ, Гостинець, в-во Івано-Франківської Теологічної Академії, 2002. - 232 с
8. Андрієвський С. М., Кузьменков С. Г., Захожай В. А., Климишин І. А. Загальна астрономія: підручник — Харків : ПромАрт, 2019. — 524 с.
9. Левантовский В.И. "Механика космического полета". М.: Наука, 1980
10. Рябов Ю.А. "Движение небесных тел" М.: Наука, 1984.

ТАБЛИЦЯ 1.

№ п/п	Планета	h над Землею	h над планетою	№ п/п	Планета	h над Землею	h над планетою
1	Меркурій	200 км	40 км	26	Плутон	325 км	150 км
2	Венера	205	300	27	Марс	330	150
3	Марс	210	320	28	Венера	335	300
4	Юпітер	215	350	29	Церера	340	40
5	Сатурн	220	300	30	Меркурій	345	40
6	Венера	225	270	31	Палада	350	30
7	Уран	230	300	32	Марс	345	175
8	Меркурій	235	20	33	Юнона	340	20
9	Нептун	240	200	34	Юпітер	335	350
10	Венера	245	350	35	Веста	330	20
11	Плутон	250	100	36	Меркурій	325	60
12	Марс	255	75	37	Церера	320	50
13	Палада	260	20	38	Уран	315	375
14	Венера	265	375	39	Нептун	305	300
15	Церера	270	30	40	Плутон	300	125
16	Марс	275	100	41	Марс	295	50
17	Юнона	280	10	42	Меркурій	290	80
18	Юпітер	285	300	43	Палада	285	40
19	Веста	290	10	44	Юпітер	280	400
20	Венера	295	400	45	Юнона	275	30
21	Марс	300	125	46	Уран	270	325
22	Юпітер	305	450	47	Веста	265	30
23	Сатурн	310	300	48	Сатурн	260	400
24	Уран	315	350	49	Церера	255	20
25	Нептун	320	250	50	Марс	250	30

ТАБЛИЦЯ 2

Планета	$a_{пл}$	R (км)	V (км/с)	ω (град/доба)	S (діб)	Дата конфігурації
Меркурій	0,38710	2439,5	47,87	4,09231	116	03 04 85(нс)
Венера	0,72333	6057	35,021	1,60213	584	03 04 85(нс)
Земля	1,0	6378	29,785	0,98564	-	-
Марс	1,52369	3397	24,129	0,52401	780	31 03 82(п)
Юпітер	5,20280	70898	13,053	0,08314	399	04 08 85(п)
Сатурн	9,53884	60000	9,644	0,03352	373	15 05 85(п)
Уран	19,19098	25400	6,798	0,01173	370	06 06 85(п)
Нептун	30,0707	24300	5,432	0,00601	367	23 06 85(п)
Плутон	39,5204	1445	4,739	0,0040	366	28 11 84(п)
Церера	2,7634	385	17,889	0,21427	467	18 08 83(п)

Палада	2.7716	245	18,934	0,21330	466	22 12 85(п)
Веста	2,3603	190	19,362	0,27152	634	22 04 85(п)
Юнона	2,6752	95	18,934	0,22606	479	29 10 80(п)

МАСИ ПЛАНЕТ В МАГАХ ЗЕМЛІ

Планета	маса	Планета	маса	Планета	маса
Меркурій	0,054	Сатурн	95,17	Палада	3,782* 10^{-6}
Венера	0,845	Уран	14.54	Веста	3,983* 10^{-66}
Земля	1,0	Нептун	17,25	Юнона	2,053* 10^{-6}
Марс	0,107	Плутон	0,02		
Юпітер	317,90	Церера	1,958* 10^{-5}		

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №9-10 (4год)

Тема: Астрономічні спостереження неозброєним оком та за допомогою телескопа

Завдання 1. Спостереження видимого добового обертання зоряного неба

1. Провести спостереження протягом одного вечора та відзначити, як буде змінюватися через кожні 2 години положення сузір'їв М. Ведмедиця і В. Ведмедиця (зробити 2-3 спостереження).
2. Результати спостережень внести в таблицю (замалювати), орієнтуючи сузір'я щодо прямовисної лінії.
3. Зробити висновок зі спостереження:
 - а) де лежить центр обертання зоряного неба;
 - б) у якому напрямку відбувається обертання;
 - в) на скільки градусів, приблизно, повертається сузір'я через 2 години.

Оформлення спостереження.

Положення сузір'їв	Час спостереження

Завдання 2. Спостереження переміщення Місяця відносно зір та зміни його фаз

1. Користуючись астрономічним календарем, вибрати зручний для спостережень Місяця період (досить від нового до повного).
2. Протягом цього періоду кілька разів зробити замальовку місячних фаз і визначити положення Місяця на небесній сфері щодо яскравих зір і щодо сторін горизонту.

Результати спостережень занести в таблицю.

Дата і час спостереження	Фаза Місяця та її вік в днях	Положення Місяця на небесній сфері

3. На карту зоряного неба нанести положення Місяця за цей проміжок часу, користуючись координатами Місяця, наведеними в Астрономічному календарі.
4. Зробити висновок зі спостережень:
 - а) у якому напрямку щодо зір переміщується Місяць зі сходу на захід. Із заходу на схід;
 - б) у яку сторону обернений опуклістю серп молодого Місяця, до сходу або заходу?

Вказівки

1. Головне в цій роботі - якісно відзначити характер руху Місяця й зміна її фаз. Тому досить провести 3-4 спостереження з інтервалом в 2-3 дні.

2. З огляду на незручності в проведенні спостережень після повні (через пізній схід Місяця), у роботі передбачається проведення спостережень тільки половини місячного циклу від нового до повного.

3. При замальовці місячних фаз треба звертати увагу на те, що добова зміна положення термінатора в перші дні після нового Місяця і перед повнею значно менше, ніж поблизу першої чверті.

Завдання 3. Спостереження за рухом планет серед зір

1. Користуючись Астрономічним календарем підібрати умови зручні для спостереження планети.

2. Нанести положення планет на зоряну карту із проміжком в 5-7 днів.

3. Спостереження закінчити, як тільки досить добре виявиться зміна положення планети щодо обраних зір.

Вказівки

1. Спостереження планет варто проводити залежно від умов їхньої видимості. Користуючись відомостями з астрономічного календаря, вибрати найбільш сприятливий період, протягом якого можна спостерігати переміщення планет.

2. При спостереженнях Венери вже через тиждень буває помітно її переміщення серед зір. До того ж, якщо вона проходить поблизу помітних зір, то зміна її положення виявляється й через менший проміжок часу, так як її добове переміщення в деякі періоди становить більше 1° .

Також легко помітити і зміну положення Марса.

Особливий інтерес являють спостереження переміщення планет поблизу стоянь, коли вони змінюють прямий рух на зворотній. При цьому підтверджується наочно петлеподібний рух планет.

Телескопічні спостереження Місяця і планет

Завдання 4. Запишіть дату, час, тип, збільшення телескопа чи іншого приладу, за допомогою якого спостерігали Місяць

1. Замалуйте вид Місяця і співставте добре помітні деталі його поверхні: Море Спокою, Море Дощів, Море Ясності, кратери Тіхо, Коперник використовуючи мапу Місяця. Зверніть увагу на попелясте світло, біля термінатора. На малюнку Місяця вкажіть сторони світу.

2. Виходячи з умови, що за час Тк місячний диск пройде добовим рухом від одного краю поля зору труби до другого, оцініть діаметри таких утворень: Море Спокою, кратер Коперніка.

3. Оцініть найменший розмір деталі на місячній поверхні, яку можна побачити в телескоп ТШ-60. Для цього визначають наближену роздільну здатність телескопа наступним методом: на місячній поверхні вибирають невеличку деталь, яка знаходиться на межі спостереження, і ототожнюють її з відповідним об'єктом на місячній мапі. Потім вимірюють розмір деталі на мапі і за допомогою мірила мапи обчислюють її дійсний розмір.

Картка спостереження Місяця

Дата і час спостереження: _____

Місце спостереження (географічні координати): _____

широта _____, довгота _____

Фаза Місяця: _____

Відсоток освітленості: _____

Зоряна величина: _____

Екваторіальні координати: схилення δ _____

пряме піднесення α _____

Намалюйте (підпишіть) основні елементи поверхні Місяця, які спостерігаються у телескоп:



Спостереження планет

1. За астрономічним календарем на дату спостереження визначити координати видимих планет. За рухомою картою зоряного неба визначити сторону горизонту і сузір'я, у якому знаходяться об'єкти. Дані занесіть у таблицю.

Назва планети	Координати планети	Сторона горизонту	Сузір'я

1. Після розгляду планет у телескоп зробіть зарисовки добре видимих планет.
2. Зробіть висновки про особливі деталі поверхонь планет.

Назва планети	Зарисовка	Особливості, які спостерігаються

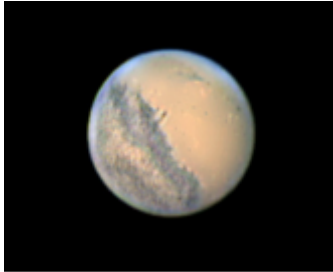
Вказівки

Спостереження Венери



- Спостерігаючи Венеру в телескоп встановіть:
- ✓ фазу планети, форму термінатора;
 - ✓ колір планети;
 - ✓ наявність світлих і темних областей на диску.

Спостереження Марса



- Спостерігаючи Марс, потрібно:
- ✓ розглянути полярні шапки і порівняти їх лінійні розміри з діаметром диска;
 - ✓ оцінити колір і контрастність темнуватих областей, порівняти їх кольорні відтінки і яскравості з забарвленням і яскравістю навколополярних і приекваторіальних областей Марса;

Спостереження



Юпітера



При телескопічному спостереженні Юпітера слід:

- ✓ звернути увагу на стиск планети біля полюсів;
- ✓ провести якісну оцінку яскравості і кольорних відтінків світлих смуг, які витягнуті паралельно екватору і темнуватих плям овальної форми;
- ✓ визначити порівняльний (з діаметром) розмір «Червоної плями».
- ✓ провести спостереження за рухом супутників.

Спостереження Сатурна



При спостереженнях Сатурна рекомендується:

- ✓ старанно розглянути в телескоп кільце планети, спробувати виявити поділ кільця на концентричні частини;
- ✓ звернути увагу на темнуваті смуги на диску, які витягнуті паралельно екватору, сплюснутість Сатурна і нерівномірний розподіл яскравості по видимому диску;

ЛІТЕРАТУРА

1. Мозговий О. В. Лабораторний практикум з астрономії / О. В. Мозговий, В. П. Думенко, О. В. Кузьминський. – Вінниця: ФОП Костюк Н.П., 2018. – 84 с

2. Боярченко І. Ф., Гулак Ю. К., Раздемаха Г. С., Сандакова Е. В. Астрономія. К., 1976.
3. Бакулин П. И., Кононович Е. В., Мороз В. И. Курс общей астрономии. М., 1983.
4. Чепрасов В.Г. Практикум з курсу загальної астрономії. К., 1976.
5. Цесевич В. П. Что и как наблюдать на небе. М., 1984.
6. Климишин І. А. Історія астрономії. 2-ге, виправлене видання.— Івано-Франківськ: “Гостинець”, 2006. — 652 с.
7. Климишин І. А. Календар і хронологія. - 5-е видання, доповнене. Івано-Франківськ, Гостинець, в-во Івано-Франківської Теологічної Академії, 2002. - 232 с
8. Андрієвський С. М., Кузьменков С. Г., Захожай В. А., Климишин І. А. Загальна астрономія: підручник — Харків : ПромАрт, 2019. — 524 с.
9. Андрієвський С. М., Климишин І. А. Курс загальної астрономії: Навчальний посібник. —Одеса: Астропринт, 2007. — 480 с.