

М. П. Пришляк

А СТРОНОМІЯ

11

Рівень стандарту
Академічний рівень



ВИДАВНИЦТВО
РАНОК

Спіральна галактика (M51)



ЕЛЕМЕНТИ ОРБИТ ПЛАНЕТ СОНЯЧНОЇ СИСТЕМИ

Планета	a (а. о.)	$a \cdot 10^6$, км	T_* , років	T_c , днів	V , км/с	e	i°	Кількість супутників
Меркурій	0,39	57,9	0,24	115,88	47,87	0,201	7	—
Венера	0,72	108,2	0,62	583,92	35,02	0,007	3,4	—
Земля	1,00	149,6	1,00	—	29,79	0,017	—	1
Марс	1,52	227,9	1,88	779,94	24,13	0,093	1,8	2
Юпітер	5,20	778,3	11,86	398,88	13,06	0,048	1,3	63
Сатурн	9,54	1427,0	29,46	378,09	9,65	0,056	2,9	60
Уран	19,18	2869,6	84,01	369,66	6,80	0,047	0,8	27
Нептун	30,06	4496,7	164,79	367,48	5,43	0,009	1,8	13
Планети-карлики								
Церера	2,77	414,4	4,61	466,4	18,03	0,077	10,6	—
Плутон	39,52	5912,0	247,70	366,72	4,7	0,253	17,1	3
Ерида	67,67	101234	557	366	3,4	0,44	44,2	1

a — велика піввісь орбіти;
 T_* — сидеричний період обертання планети;
 T_c — синодичний період обертання планети;
 V — орбітальна швидкість;
 e — ексцентриситет орбіти;
 i — нахил площини орбіти до екліптики.

За загальною редакцією
академіка НАН України Я. С. Яцківа

М. П. Пришляк

АСТРОНОМІЯ

Рівень стандарту
Академічний рівень

Підручник
для загальноосвітніх навчальних закладів



Рекомендовано
Міністерством освіти
і науки України

ХСШ «Ліцей міліції»
Бібліотека

інв. № _____

ВИДАВНИЦТВО
РАНОК

ВВК 74.262.26я721
П75

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України
(Наказ № 235 від 16.03.2011 р.)

Видано за рахунок державних коштів. Продаж заборонено

Автор:

М. Я. *Пришляк* — професор кафедри фізики Харківського
національного педагогічного університету ім. Григорія Сковороди

Наукову експертизу проводила
Головна астрономічна обсерваторія НАН України.

Психолого-педагогічну експертизу проводив
Інститут педагогіки НАПН України

Пришляк М. П.

П75 Астрономія: 11 кл.: підручник для загальноосвіт. навч. закл.:
рівень стандарту, академічний рівень / М. П. Пришляк; за заг. ред.
Я. С. Яцківа. — Х.: Вид-во «Ранок», 2011.— 160 с: іл.

ISBN 978—617—540—424—9.

Підручник відповідає вимогам «Державного стандарту базової і повної серед-
ньої освіти» та навчальній програмі з астрономії для 11-річної школи.

Основна мета підручника — сприяти формуванню базових астрономічних знань,
показати їх необхідність для розуміння навколишнього світу.

ВВК 74.2в2.2вя721

ISBN 978—617—540—424—9

© М. П. Пришляк, 2011
© ТОВ Видавництво «Ранок», 2011

Юні друзі!

Ви починаєте вивчення однієї з найбільш давніх і цікавих наук — астрономії, яка досліджує природу, походження та еволюцію як окремих небесних тіл, так і Всесвіту в цілому. У підручнику ви здійсните своєрідні космічні мандри крізь простір і час.

Так, у розділах:

- «Що вивчає астрономія?» ви розглянете історію зародження науки астрономії та еволюцію уявлень людини про Всесвіт;
- «Основи практичної астрономії» і «Вимірювання часу та календар» ви навчитесь розпізнавати сузір'я на нічному небі й за допомогою небесних світил орієнтуватись на місцевості та вимірювати час;
- «Закони руху планет» і «Основи космонавтики» ви вивчите основні закони «небесної механіки», адже всі космічні тіла, супутники та космічні кораблі рухаються згідно із законом всесвітнього тяжіння, який ви вивчали в курсі фізики. Ви дізнаєтесь, який вагомий вклад в освоєння космосу зробили видатні українські вчені.

В астрофізичних розділах ви дізнаєтесь, які фізичні умови існують на поверхні планет Сонячної системи, чому навколо планет існують кільця, як народжуються нові зорі й перетворюються у пил планетні системи.

Окрім того, у підручнику ви знайдете відповіді на такі цікаві питання:

- Чи існувала між Юпітером і Марсом планета Фаетон?
- Чому 65 млн років тому загинули динозаври?
- Що впливає на зміну клімату на Землі?
- Скільки часу ще буде світити Сонце?
- Як долетіти до чорної діри?
- Що загрожує існуванню земної цивілізації?
- Чи існують у Всесвіті «темна енергія» і «темна матерія»?

До кожного розділу додаються тести, перевірочні запитання та астрономічні задачі.

Підручник містить докладні відомості про телескопи, що дозволяють дослідити поверхню Місяця, супутники Юпітера, кільця Сатурна, а також спостерігати галактики, які розташовані на відстані десятків мільйонів світлових років від Землі.

У підручнику подано електронні адреси астрономічних обсерваторій України та інших країн світу. За допомогою мережі Інтернет можна отримати фото небесних світил, зроблені не тільки телескопами з поверхні Землі, але й за допомогою космічного телескопа Габбла (<http://www.stsci.edu/hst/>).

Умовні позначення



Запитання, тести та задачі



Для допитливих



Диспути на запропоновані теми



Ключові поняття і терміни



Завдання для спостережень



Висновки

Звертаємо особливу увагу, що під час астрономічних спостережень не можна дивитися на Сонце ні в телескоп, ні неозброєним оком.

§ 1. Що вивчає астрономія?

Вивчивши цей параграф, ми:

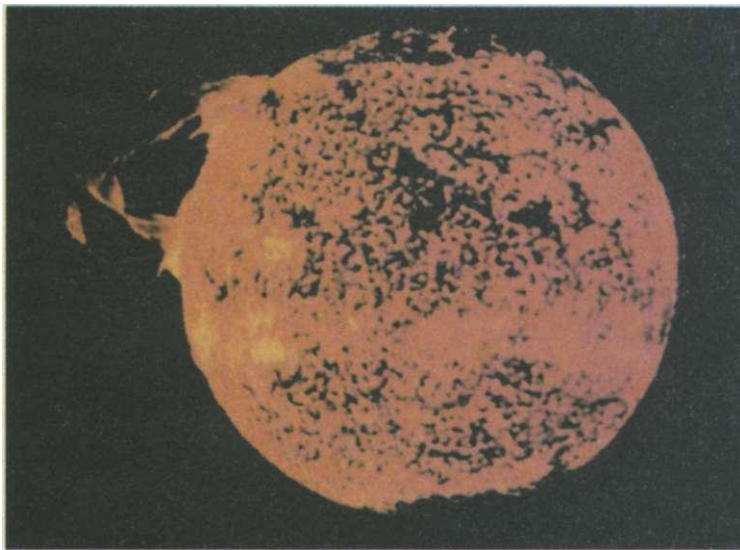
- побачимо далекі космічні світила й уявимо собі величезні масштаби Всесвіту, у якому ми живемо;
- дізнаємось про місце нашої планети у Всесвіті, та визначимо нашу космічну адресу.

1

Предмет астрономії

Назва астрономія походить з грецької мови (*astron* — зоря, *nomos* — закон), тобто це наука, яка вивчає закони зір. Зараз відомо, що у Всесвіті крім зір (рис. 1.1) існує ще багато інших космічних тіл та їхніх комплексів — планет, астероїдів, комет, галактик, туманностей. Тому астрономи вивчають усі об'єкти, які розташовані за межами Землі, та їхню взаємодію між собою. Слово *космос* у перекладі з грецької означає *порядок*, на відміну від *хаосу*, де панує безлад. Тобто ще в Давній Греції вчені розуміли, що у Всесвіті діють якісь закони, тому на небі існує певний порядок. У наш час під словом *космос* ми уявляємо собі *Всесвіт*.

У сучасній астрономії використовуються різноманітні методи дослідження Всесвіту. Астрономи не тільки збирають інформацію про далекі світи, вивчаючи випромінювання, яке надходить із космосу до поверхні Землі, але й проводять експерименти у навколишньому та далекому космічному просторі.



Всесвіт у широкому розумінні цього слова — все суще, що розташоване на Землі та за її межами

Рис. 1.1. Зоря — масивне гаряче космічне тіло, яке випромінює світло і має всередині джерело енергії. (Фотографія Сонця)

2 Коротка історія астрономії

З давніх-давен небо вражало уяву людей своєю загадковістю, але багато століть воно залишалось для них недосяжним, а тому священним. Фантазія людей населила небо могутніми істотами — богами, які керують світом і навіть вирішують долю кожної людини. Вночі примарне сяйво зір зачаровувало людей, тому вигадка прадавніх астрономів об'єднала окремі зорі у фігури людей і тварин — так з'явилися назви сузір'їв. Потім були помічені світила, що рухаються серед зір,— їх назвали планетами (з грец.— *блукаюча*; рис. 1.2).

Перші спроби пояснити таємничі небесні явища були зроблені в Давньому Єгипті понад 4000 років тому та у Давній Греції ще до початку нашої ери. Єгипетські жерці склали перші карти зоряного неба (рис. 1.3), дали назви планетам.

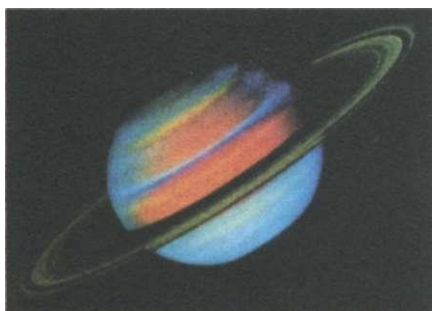


Рис. 1.2. Планета — холодне в порівнянні із зорею космічне тіло, що обертається навколо зорі й світиться її відбитими променями

Великий давньогрецький філософ і математик Піфагор у VI ст. до н. е. висунув ідею, що Земля має форму кулі й «висить» у просторі, ні на що не спираючись. Астроном Гіппарх у II ст. до н. е. визначив відстань від Землі до Місяця та відкрив явище *прецесії* осі обертання Землі.

Давньогрецький філософ Клавдій Птолемей (рис. 1.4) у II ст. н. е. створив геоцентричну систему світу, у якій Земля розміщується у центрі. Землю у просторі оточують 8 сфер, на яких розташовані Місяць, Сонце та 5 відомих у ті часи планет: Меркурій, Венера, Марс, Юпітер

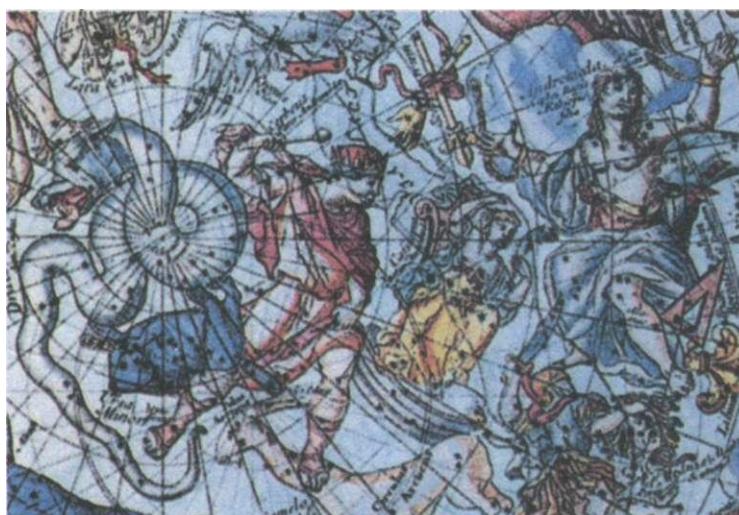


Рис. 1.3. Частина давньої карти зоряного неба. Принцесу Андромеду принесли в жертву чудовиську Киту. Врятував красуню Персей, який відрубав голову медузі Горгоні, від погляду якої все кам'яніло

і Сатурн (рис. 1.6). На 8-й сфері розміщуються зорі, які з'єднані між собою і обертаються навколо Землі як єдине ціле.

У XVI ст. польський астроном Миколай Коперник (рис. 1.5) запропонував геліоцентричну систему світу, у якій у центрі розташоване Сонце, а планета Земля та інші планети обертаються навколо нього по колових орбітах (рис. 1.7).

Геніальність відкриття Коперником геліоцентричної системи світу полягала в тому, що він, зруйнувавши межу між небом і Землею, висунув гіпотезу, що у Всесвіті діють одні й ті самі закони, справедливі як на Землі, так і в космосі.

У 1609 р. італійський фізик Галілео Галілей (рис. 1.8) уперше використав телескоп для спостереження за небесними світилами, відкрив супутники Юпітера та побачив зорі в Молочному Шляху.

XVIII ст. в історії астрономії пов'язане з іменем англійського вченого Ісаака Ньютона (рис. 1.9), який відкрив основні закони механіки та закон всесвітнього тяжіння. Заслуга Ньютона полягає в тому, що він довів універсальність сили тяжіння, або гравітації, тобто та сама сила, яка діє на яблуко під час його падіння на Землю, притягує також Місяць, що обертається навколо Землі. Сила тяжіння керує рухом зір і галактик, а також впливає на еволюцію цілого Всесвіту.



Рис. 1.4. Птолемей (90—160)



Рис. 1.5. М. Коперник (1473—1543)

Рис. 1.6. Геоцентрична система світу: у центрі Земля, а всі інші небесні тіла обертаються навколо неї. (Стародавня гравюра)



Рис. 1.7. Геліоцентрична система світу: у центрі розташоване Сонце. Земля разом із планетами обертається навколо нього. (Гравюра XVII ст.)

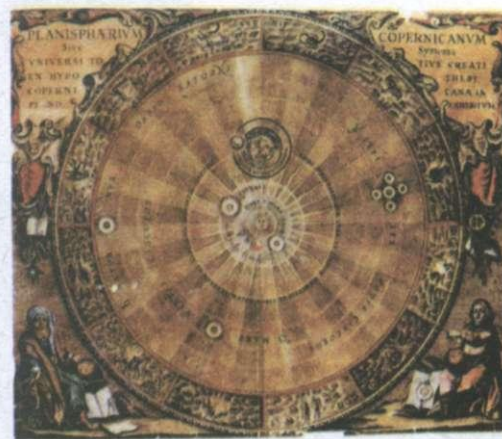




Рис. 1.8. Г. Галілей (1564—1642)



Рис. 1.9. І. Ньютон (1643—1727)

Рис. 1.11. Перший у світі штучний супутник Землі (СРСР)

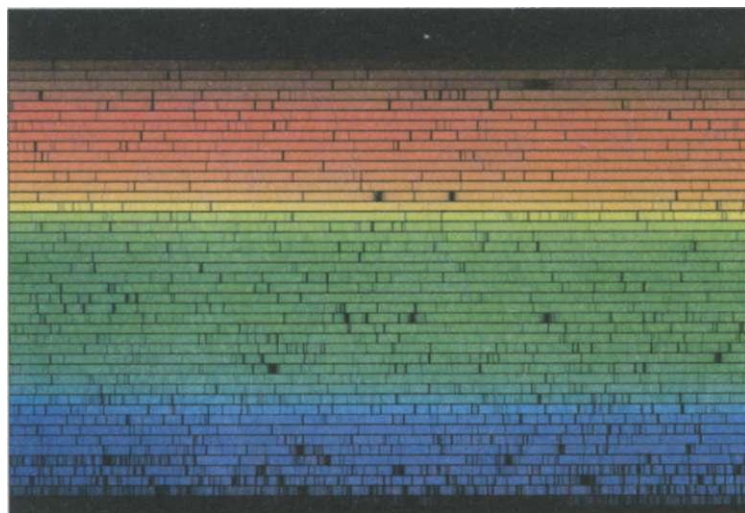


У XIX ст. почався новий етап у вивченні космосу, коли у 1814 р. німецький фізик Йозеф Фраунгофер відкрив лінії поглинання у спектрі Сонця — фраунгоферові лінії (рис. 1.10), потім лінії поглинання були виявлені у спектрах інших зір. За допомогою спектрів астрономи визначають хімічний склад, температуру і навіть швидкість руху космічних тіл.

Створення у XX ст. видатним німецьким фізиком *Альбертом Айнштайном* (у російськомовній літературі — Ейнштейн) загальної теорії відносності допомогло астрономам збагнути дивне червоне зміщення ліній поглинання у спектрах далеких галактик, що було відкрите американським астрономом Едвіном Габблом у 1929 р. Габбл довів, що галактики розлітаються, і пізніше вчені створили *теорію еволюції Всесвіту* від його зародження до сьогодення. Це дало поштовх до створення нової науки — *космології*.

4 жовтня 1957 р. почалась *ера космонавтики*. Цього дня у Радянському Союзі було запущено в космос перший у світі штучний супутник Землі (рис. 1.11), у створенні якого брали участь також українські вчені, інженери та робітники. Сьогодні в космосі літають сотні автоматичних станцій, які досліджують не тільки навколоземний простір, але й вивчають інші планети Сонячної системи.

Рис. 1.10. Спектр Сонця. Темні лінії поглинання утворюються в атмосферах Землі й Сонця



3 **Наша космічна адреса**

Ми живемо на Землі — одній із планет, що належать до Сонячної системи. Ці планети рухаються по своїх орбітах навколо Сонця. Більшість планет (крім Венери і Меркурія) мають супутники, які обертаються навколо своєї планети. До Сонячної системи крім Сонця і планет із супутниками входять також сотні тисяч астероїдів, або малих планет, мільйони кометних ядер та метеорна речовина. Щодо Сонця планети розташовуються у такій послідовності: найближча — Меркурій, за ним — Венера, Земля, Марс, Юпітер, Сатурн, Уран і Нептун (рис. 1.12).

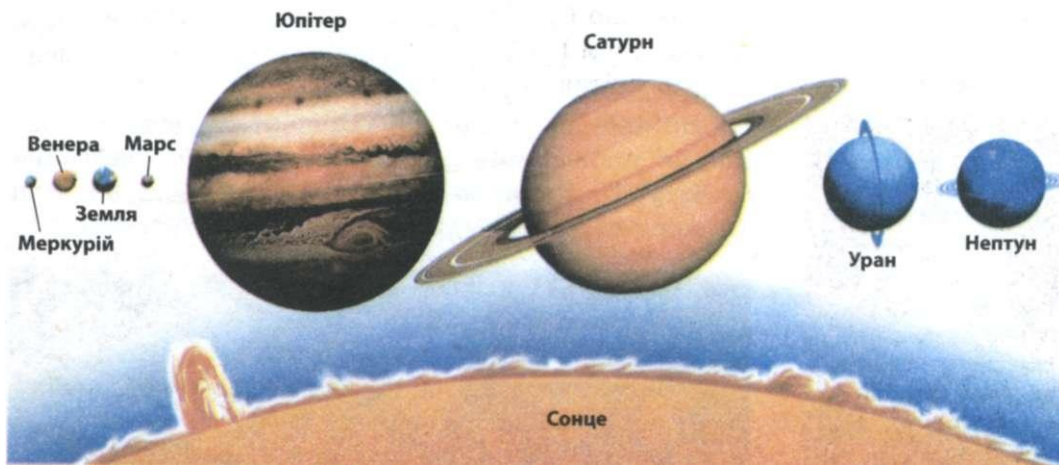


Рис. 1.12. Відносні розміри Сонця і планет Сонячної системи. Середній радіус Землі — 6370 км

За Нептуном навколо Сонця обертаються ще тисячі малих планет, які майже не освітлюються промінням Сонця.

Відстані в космічному просторі такі великі, що вимірювати їх у звичайних для нас метрах чи кілометрах незручно, тому астрономи вибрали одиницями вимірювання астрономічну одиницю та світловий рік.

За межами Сонячної системи, на відстані більше ніж 100000 а. о., починається зона тяжіння інших зір. Неозброєним оком на небі можна побачити близько 6000 зір, які утворюють на небі 88 сузір'їв. Насправді зір набагато більше, але від далеких світил надходить так мало світла, що їх можна спостерігати тільки в телескоп. Великі скупчення зір, що утримуються силою тяжіння, називають *галактиками*.

Кількісний склад Сонячної системи: (на 2011 р.)	
Сонце (зоря)	1
Планети	8
Планети-карлики	3
Супутн. планет	понад 150
Астероїди	понад 500 000
Комети	понад 1 000 000
Метеорна речовина	

§ 1. ЩО ВИВЧАЄ АСТРОНОМІЯ?

Астрономічна одиниця (а. о.) — середня відстань від Землі до Сонця.

1 а. о. $\approx 150 \cdot 10^6$ км

Світловий рік (св. рік) — відстань, яку долає світло за 1 рік, рухаючись зі швидкістю 300 000 км/с.

1 св. рік $\approx 10^{13}$ км

Інші галактики — зоряні системи, які складаються з мільярдів зір, що обертаються навколо спільного центра

У Всесвіті перебувають мільярди галактик, серед яких є і наша Галактика (пишеться з великої літери), яку називають Молочний, або Чумацький Шлях. На нічному небі ми бачимо її як сріблясту смугу (рис. 1.13). Наша Галактика (з грец.— *Молочний Шлях*) — це величезна система, у якій обертаються навколо центра 400 млрд зір. Гарячі зорі розміщені у вигляді диска зі спіральними рукавами.

З інших галактик, які можна побачити неозброєним оком, виділяється *Туманність Андромеди*. Ця зоряна система за розмірами та формою подібна до нашої Галактики, і світло від неї долітає до Землі за 2,3 млн років, тобто відстань до неї — 2,3 млн св. років. Галактики розташовані в скупченнях і формують комірчасту структуру Всесвіту.

Найбільш віддалені космічні об'єкти, які ще можна побачити у сучасні телескопи, — *квасари* (див. §15). Вони розташовані від нас на відстані 10 млрд св. років.

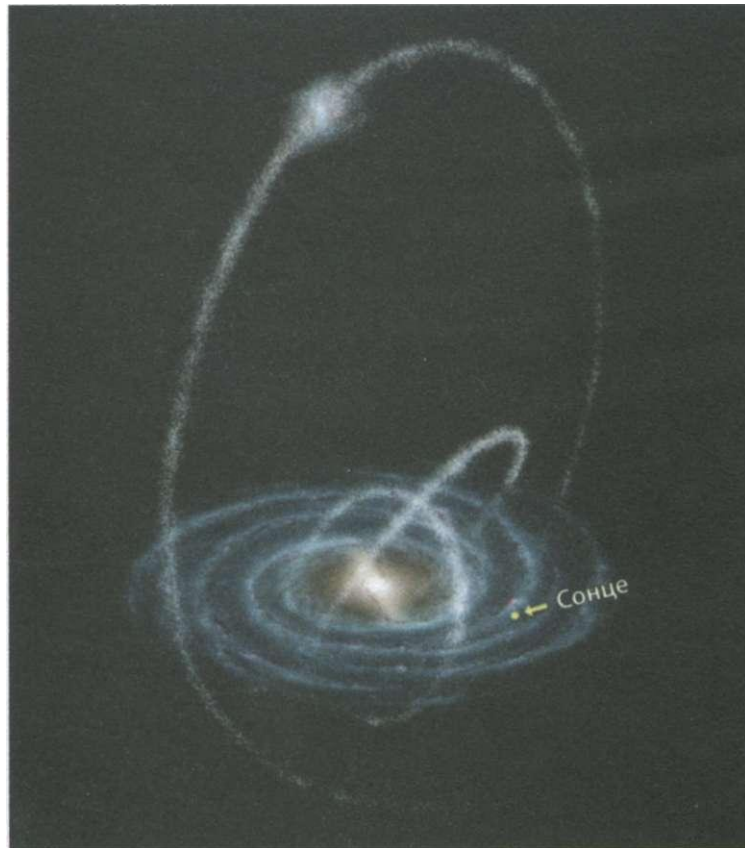


Рис. 1.13. Галактика Молочний Шлях. Діаметр основної частини диска — 100000 св. років, відстань від Сонця до центра Галактики — 25000 св. років

Якщо в майбутньому земляни захочуть обмінюватися інформацією з іншими світами, то нашу космічну адресу можна записати так: Україна, планета Земля, Сонячна система, Галактика, Всесвіт (рис. 1.14).



Для допитливих

У Всесвіті зареєстровано близько 10 млрд галактик. Якщо у кожній галактиці налічується у середньому 10¹¹ зір, то загальна кількість зір у Всесвіті сягає фантастичної цифри — 10²¹. Це астрономічне число з 21 нулем уявити собі важко, тому можна порадити таке порівняння. Якщо розділити всі зорі у Всесвіті на кількість людей на Землі, то кожний із нас був би володарем однієї галактики, тобто приблизно 200 млрд зір.



4 Основні розділи астрономи

Сучасна астрономія — надзвичайно розгалужена наука, розвиток якої безпосередньо пов'язаний з науково-технічним прогресом людства. Астрономія поділяється на окремі підрозділи (або напрями), у яких використовуються властиві лише їм методи та засоби дослідження.

Космологія — розділ астрономії, у якому вивчають будову та еволюцію Всесвіту як єдиного цілого. Можливо, що в майбутньому космологія об'єднає всі природничі науки — фізику, математику, хімію, біологію, філософію, для того щоб дати відповідь на основні проблеми нашого буття (див. §15, 16, 17):

— Як виник цей світ, у якому ми живемо, і чому він є таким, яким ми його зараз спостерігаємо?

— Як виникло життя на Землі, і чи існує життя у Всесвіті?

— Що чекає наш Всесвіт у майбутньому?



Для допитливих

Іноді астрономію споріднюють з *астрологією*, бо вони мають схожі назви. Насправді між астрономією та астрологією існує суттєва відмінність: астрономія — це наука, яка вивчає походження та еволюцію космічних тіл, а астрологія не має нічого спільного з наукою, оскільки вважає, що за допомогою зір начебто можна передбачити майбутнє. Астрологи малюють різноманітні схеми розташування зір та планет і складають гороскопи (з грец.— *заглянути в майбутнє*), за допомогою яких пропонують передбачити долю кожної людини.

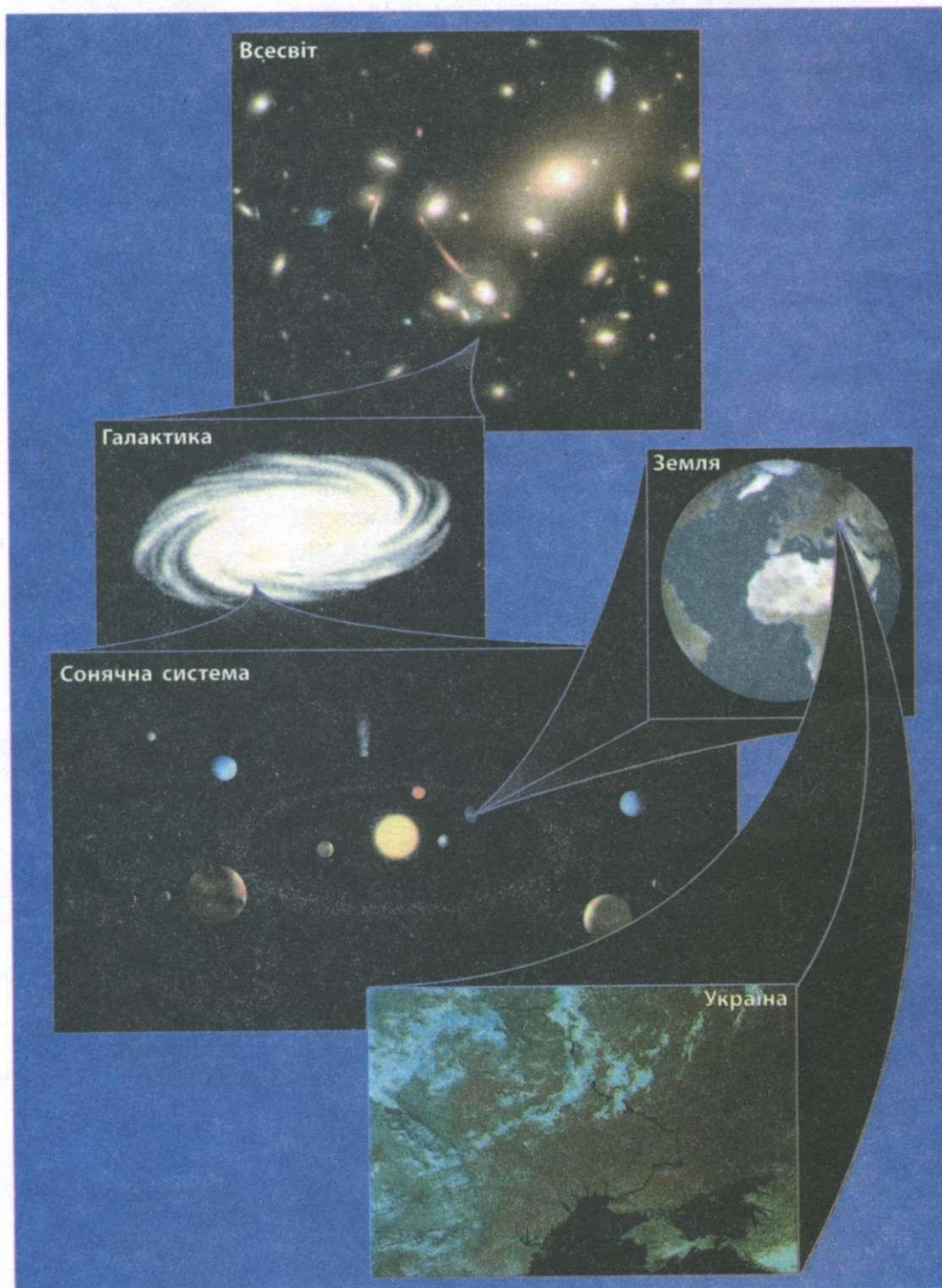
Астрометрія — розділ астрономії, що вивчає положення і рух небесних тіл та їхніх систем

Небесна механіка — розділ астрономії, що вивчає закони руху небесних тіл

Астрофізика — розділ астрономії, що вивчає природу космічних тіл: їхню будову, хімічний склад, фізичні властивості

Космологія вивчає будову та еволюцію Всесвіту як єдиного цілого

Рис. 1.14. Наша космічна адреса



**Висновки**

Астрономія — це наука, яка вивчає різноманітні космічні тіла та їхні системи, а також процеси, що відбуваються при взаємодії цих тіл між собою. Протягом останнього тисячоліття уявлення людей про Всесвіт суттєво змінились — від геоцентричної системи світу Птолемея з кришталевими сферами навколо Землі, до сучасної величної картини безмежного космосу. Астрономія тісно пов'язана з іншими природничими науками — фізикою, хімією, математикою, біологією, філософією, бо на Землі й у космосі діють одні й ті самі закони природи. У нашому Всесвіті нічого вічного не існує — утворюються і вибухають зорі та планети, народжуються та гинуть цивілізації... Вічним залишається тільки одне питання: «Чому існує Всесвіт, і чому в цьому дивному світі живемо ми?».

**Тести**

1. Яке тіло розташоване в центрі геоцентричної системи світу?
А. Сонце. **Б.** Юпітер. **В.** Сатурн. **Г.** Земля. **Д.** Венера.
2. Яку планету відкрив Коперник?
А. Марс. **Б.** Сатурн. **В.** Уран. **Г.** Землю. **Д.** Юпітер.
3. Що вимірюється світловими роками?
А. Час. **Б:** Відстань до планет. **В.** Період обертання. **Г.** Відстань до зір.
Д. Відстань до Землі.
4. Як перекладається з грецької мови слово *планета*?
А. Волохата зоря. **Б.** Хвостата зоря. **В.** Блукаюча. **Г.** Туманність.
Д. Холодне тіло.
5. Яку структуру має наша Галактика?
А. Еліптичну. **Б.** Спіральну. **В.** Неправильну. **Г.** Кулясту. **Д.** Циліндричну.
6. Яка різниця між геоцентричною та геліоцентричною системами світу?
7. У якій послідовності відносно Сонця розташовані планети Сонячної системи?
8. Чи можуть існувати тіла за межами орбіти Нептуна?
9. Що вимірюється астрономічними одиницями?
10. Обчисліть точне значення величини (до третього знака) 1 св. року в кілометрах.
11. Обчисліть, за який час світло долітає від Сонця до Землі; до Нептуна; до межі Сонячної системи. Швидкість світла вважати рівною 300000 км/с.

**Диспути на запропоновані теми**

12. Що таке астрологія? На вашу думку, чи можна вважати астрологію наукою?

**Завдання для спостережень**

13. Самостійно відшукайте на небі яскраві зорі, які позначені на карті зоряного неба. Зарисуйте яскраві зорі на небосхилі, які розташовані у вас над головою. Порівняйте ваші рисунки з картою зоряного неба. До яких сузір'їв належать ці яскраві зорі?
14. Знайдіть серед яскравих зір таку, яка не позначена на зоряній карті. Це може бути якась планета або, можливо, ви відкрили нову зорю?!

**Ключові поняття і терміни:**

Астрономічна одиниця, астрофізика, Галактика, геліоцентрична система світу, геоцентрична система світу, зоря, небесна механіка, планета, світловий рік.

§ 2. Основи практичної астрономії

Вивчивши цей параграф, ми:

- осмислимо наші уявлення про небесну сферу як допоміжну поверхню для відліку сферичних координат небесних тіл;
- навчимося орієнтуватись на поверхні Землі за допомогою небесних світил.

1

Небесна сфера

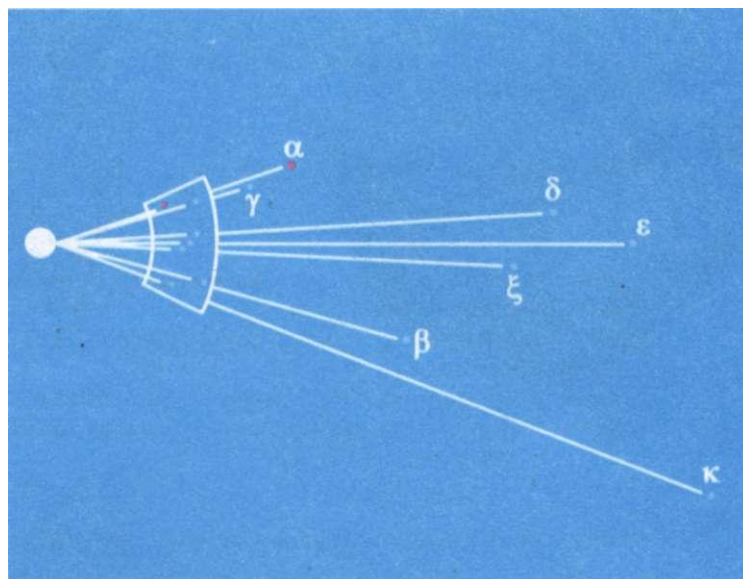
Під час спостережень за зорями нам здається, що всі небесні світила розташовані на однаковій відстані, ніби світять на поверхні велетенської сфери, у центрі якої розташований спостерігач. Нині відомо, що зорі та планети перебувають на різних відстанях від Землі (рис. 2.1, 2.2), а наша планета не розміщується у центрі Всесвіту, тому таку *небесну сферу* вважають допоміжною при визначенні сферичних координат світил. На таку допоміжну сферу проєктуються зображення зір та планет, і ми можемо виміряти тільки кути між напрямками на ці світила. При цьому центр небесної сфери може розташовуватися у будь-якій точці простору; залежно від цього розрізняють топоцентричні, геоцентричні чи геліоцентричні координати.



Рис. 2.1. Сузір'я Оріон (давня карта зоряного неба)

Сузір'я — ділянки небесної сфери, на які поділені окремі групи зір для зручності орієнтування

Рис. 2.2. Зорі в сузір'ї Оріон розташовані на різних відстанях від Землі, а нам здається, що вони світять на поверхні сфери



п Точки та лінії небесної сфери

На небесній і земній сферах можна провести деякі кола, за допомогою яких визначаються небесні координати світил (рис. 2.3, а).

На земній сфері існують дві особливі точки — *географічні полюси*, де вісь обертання Землі перетинає поверхню планети (*N, S* — відповідно Північний та Південний полюси). Площина *земного екватора*, яка ділить нашу планету на північну та південну півкулі, проходить через центр Землі перпендикулярно до її осі обертання. *Меридіани* на Землі проходять через географічні полюси та точки спостереження. Початковий (нульовий) меридіан проходить поблизу місцезнаходження колишньої Гринвіцької обсерваторії.

Якщо продовжити вісь обертання Землі в космос, то на небесній сфері ми отримаємо дві точки перетину, які називаються *полюсами світу* (рис. 2.3, б): *Північний полюс* P_1 (у сучасну епоху біля *Полярної зорі*) і *Південний полюс* P_2 (у сузір'ї *Октант*). Площина земного екватора перетинається з небесною сферою, і в перерізі ми отримуємо небесний екватор,

Уявна небесна сфера довільного радіусу допомагає визначити координати небесних світил

Полюс світу — точка перетину осі обертання Землі з небесною сферою

Небесний екватор — лінія перерізу площини земного екватора з небесною сферою

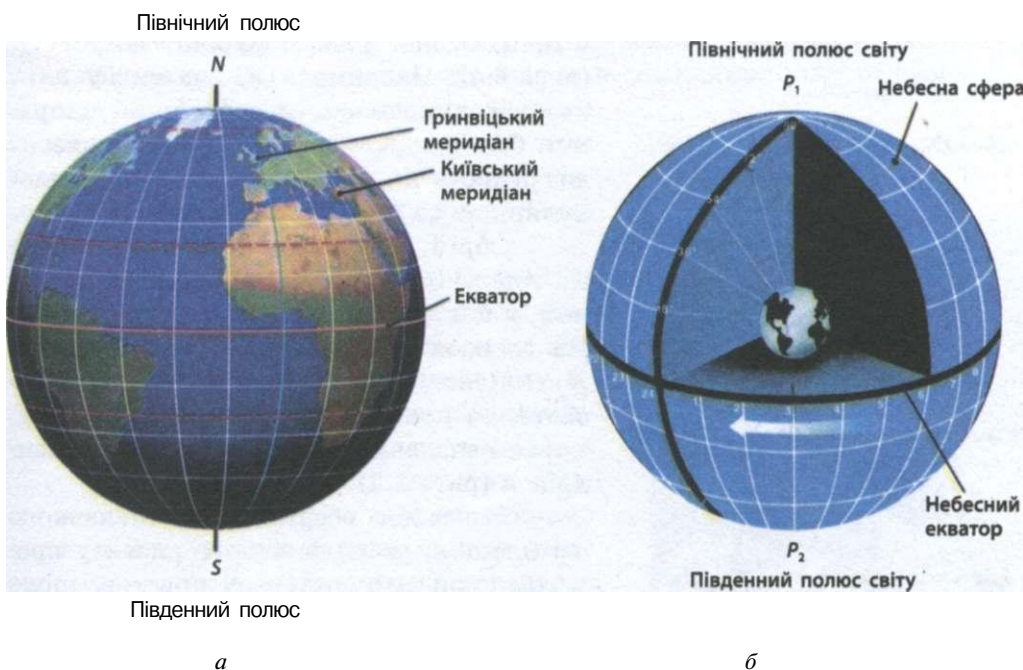


Рис. 2.3. Основні точки і лінії системи координат: а — земної (географічної), б — небесної

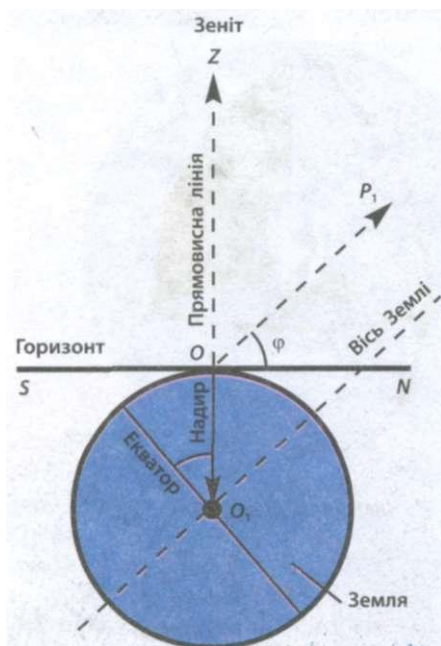
Небесний меридіан — лінія перерізу площини земного меридіана з небесною сферою

який поділяє небо на дві *рівні півкулі* — *північну* та *південну*. Але існує одна суттєва відмінність між полюсами та екватором на земній кулі та полюсами світу і небесним екватором. Географічні полюси реально існують як точки на поверхні Землі, де вісь обертання Землі перетинається з поверхнею планети, і до них можна долетіти чи доїхати так само, як і до екватора. Полюсів світу як реальних точок у космічному просторі немає, бо *радіус небесної сфери є невизначеним*, тому ми можемо позначити тільки напрямок, у якому вони спостерігаються.

3 Орієнтування на місцевості

У повсякденному житті для визначення напрямку ми використовуємо орієнтири, які нам добре знайомі, — будинки, дороги, ріки тощо. Якщо ми потрапляємо в незнайому місцевість, то наші звичні орієнтири зникають, і ми можемо заблукати. У цьому випадку надійними орієнтирами можуть бути небесні світила, бо вони нам світять і вдома, і на чужині.

Для орієнтування на поверхні Землі астрономи застосовують терміни *прямовисна лінія* та *горизонт*. Напрямок прямовисної лінії задається силою тяжіння Землі в точці спостереження. Його можна визначити за допомогою звичайного виска-тягарця, який підвішують на нитці. Припустимо, що спостерігач перебуває на поверхні Землі



в точці O , яка має географічну широту $\langle \rho$ (рис. 2.4). Напрямок OO^2 по виску вниз називають надиром, протилежний напрямок OZ , угору, — *зенітом*. Зараз горизонт визначають як площину, яка є перпендикулярною до прямовисної лінії.

Обрій, або лінія перетину площини горизонту з небесною сферою, буде колом, у центрі якого перебуває спостерігач. На горизонті розрізняють чотири точки: N — *північ*, S — *південь*, E — *схід*, W — *захід*, за допомогою яких люди орієнтуються і визначають напрямки під час мандрівок (рис. 2.5).

Унаслідок обертання Землі навколо осі площини меридіана та горизонту протягом доби зміщуються у просторі щодо

Рис. 2.4. Площина математичного горизонту є перпендикулярною до прямовисної лінії

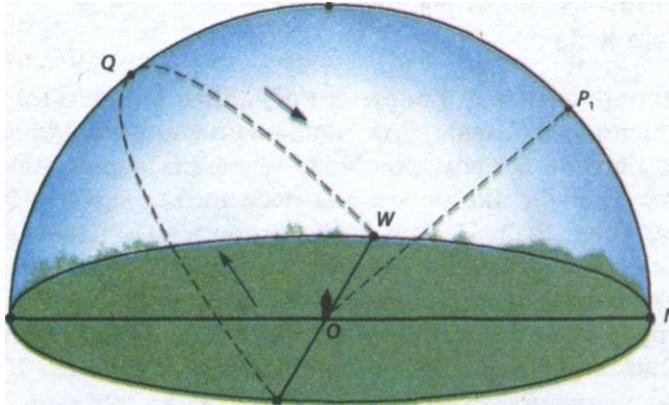


Рис. 2.5. Уночі надійним орієнтиром може бути Полярна зоря P_1 , на яку спрямована вісь обертання Землі. Якщо дивитися на Полярну зорю, то попереду буде напрямок на північ, позаду — південь, праворуч — схід, ліворуч — захід. Точка O — кульмінація Сонця

Кульмінація — перетин світилами небесного меридіана внаслідок добового обертання Землі навколо осі

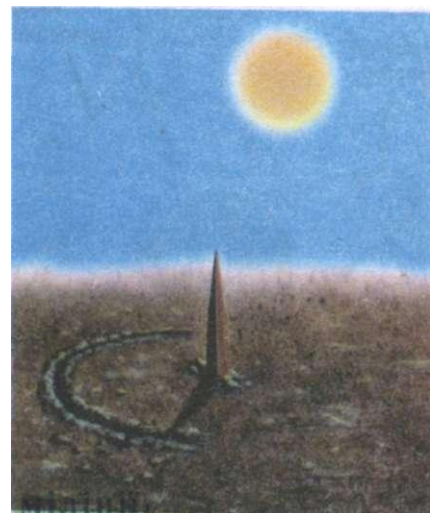
зір, але нам на поверхні Землі здається, що все відбувається навпаки — небесні світила рухаються щодо горизонту. Ми кажемо, що Сонце сходить, коли воно з'являється над обрієм на сході. Потім Сонце піднімається все вище і вище й опівдні займає найбільшу висоту над горизонтом. Цей момент астрономи називають верхньою кульмінацією (від лат.— *вершина*). Верхня кульмінація настає у той момент, коли Сонце перетинає площину меридіана і розташовується над точкою півдня.

Момент верхньої кульмінації Сонця можна визначити за допомогою палички, яку треба встановити перпендикулярно до горизонту (рис. 2.6). Для визначення кульмінації уважно слідкуйте за довжиною тіні: коли Сонце розташоване над точкою півдня, тінь укаже напрямок на північ і має найменшу довжину.

Тільки в березні та вересні Сонце сходить поблизу точки сходу, а заходить біля точки заходу. Влітку Сонце сходить на північному сході, а заходить на північному заході. Узимку Сонце сходить на південному сході, а заходить на південному заході.

Деякі зорі на наших широтах ніколи не заходять, тому на небі ми можемо побачити не тільки верхню, але й нижню кульмінацію, коли світило перебуває найнижче над горизонтом (дивись *рухому карту зоряного неба*, на звороті якої є інструкція, як визначати момент кульмінації зір).

Рис. 2.6. Опівдні тінь від палички спрямована на північ



4 Екваторіальна система небесних координат і карти зоряного неба

Небесні координати:
 α — пряме сходження;
 δ — схилення

Основними площинами в цій системі координат є площини небесного екватора та кола схилень. Для визначення екваторіальних небесних координат світила S проводять коло схилення через полюси світу P_1 і P_2 , яке перетинає небесний екватор у точці M (рис. 2.7). Перша координата α має назву *пряме сходження* (*пряме піднесення*) і відлічується по дузі небесного екватора від *точки весняного рівнодення* Υ проти ходу годинникової стрілки, якщо дивитися з Північного полюса, та вимірюється годинами. Друга координата δ — *схилення* визначається дугою кола схилень MS від екватора до даного світила і вимірюється градусами. На північ від екватора схилення додатне, на південь — від'ємне. Межі визначення екваторіальних координат такі:

$$0 \text{ год} < \alpha < 24 \text{ год}; \quad -90^\circ < \delta < +90^\circ.$$

Карта зоряного неба у формі прямокутника є певною *проекцією небесної сфери на площину, на якій позначені екваторіальні координати* α , δ (рис. 2.8). Ці координати не залежать від місця спостереження на Землі і майже не змінюються протягом року, тому картою зоряного неба можна користуватись у будь-якій країні. Правда, через тисячі років екваторіальні координати зір можуть суттєво змінитися, бо змінюється з часом положення небесного екватора і полюсів світу, до того ж зорі обертаються навколо центра Галактики (див. § 15).

Існує карта зоряного неба у вигляді круга (див. вкладку до підручника). Північний полюс світу розміщується у центрі карти поблизу Полярної зорі. Коло схилень у проекції на площину карти має вигляд радіальної лінії, яку проводять від Північного полюса світу. Небесний екватор на карті зображений виділеним колом, а інші концентричні кола для різних схилень проведені через кожні 30° .

Координату δ на карті визначають як відрізок радіальної лінії від екватора до даної зорі. Схилення зір на екваторі дорівнює 0° , а на Північному полюсі світу $+90^\circ$. Пряме піднесення α на карті визначають як дугу екватора від точки весняного рівнодення Υ до радіальної лінії,

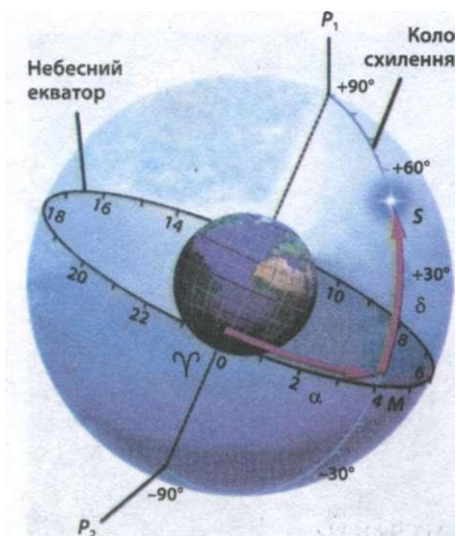
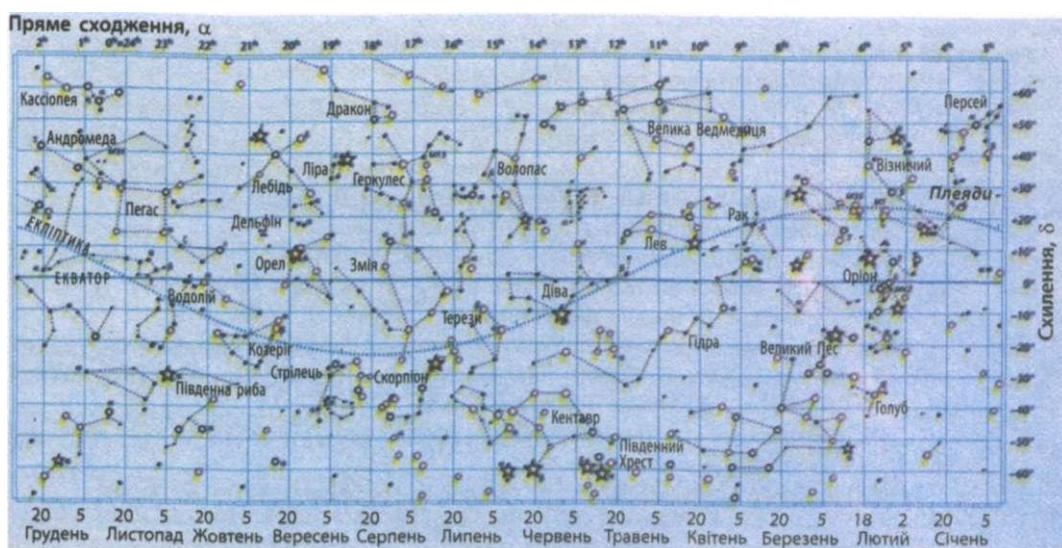


Рис. 2.7. Екваторіальна система небесних координат



яка проведена від полюса світу через дану зорю. Для зручності а позначено на екваторі через кожну годину (1 \ 2 \ 3 \ ...).

Унаслідок обертання Землі навколо осі площина горизонту зміщується у просторі, тому всі світила теж змінюють своє положення відносно горизонту. Момент, коли деякі світила перетинають площину горизонту, називають *сходом* або *заходом* світила. Моменти сходу—заходу небесних світил можна визначити за допомогою *рухомої карти зоряного неба*, або планісфери, на якій є спеціальний накладний круг із лінією горизонту та меридіаном. Такою зоряною картою з накладним кругом можна користуватись у будь-якій країні Північної півкулі на географічній широті України ($+50^\circ \pm 5^\circ$). Правила користування *рухомою картою зоряного неба* надруковані на її зворотному боці.

Рис. 2.8. Карта зоряного неба екваторіальної зони. Дати, коли ці сузір'я кульмінують у вечірній час, позначені внизу карти. Відшукайте їх після заходу Сонця в південній частині небосхилу



Для допитливих

На зоряних картах не зображені планети, бо вони обертаються навколо Сонця і тому з часом змінюють свої екваторіальні координати. Для визначення положення планет щодо зір треба користуватися астрономічним календарем (див. §3, 4).



Висновки

Уявна небесна сфера допомагає визначити положення космічних тіл у певній системі координат. На картах зоряного неба використовують екваторіальну систему координат, у якій положення зір визначають за допомогою прямого сходження та схилення. Небесні світила допомагають також визначити сторони горизонту у випадку, якщо ми заблукали в незнайомій місцевості.

§2. ОСНОВИ ПРАКТИЧНОЇ АСТРОНОМІЇ



Тести

1. Північний полюс світу розташований:
А. В Арктиці. **Б.** В Антарктиці. **В.** У сузір'ї Оріон. **Г.** У сузір'ї Велика Ведмедиця.
Д. Поблизу Полярної зорі.
2. Момент, коли світило має найбільшу висоту над горизонтом, називається:
А. Пряме сходження. **Б.** Верхня кульмінація. **В.** Нижня кульмінація.
Г. Верхня культивация. **Д.** Нижня культивация.
3. Чи можна в Канаді та Україні одночасно побачити сузір'я Велика Ведмедиця?
А. Не можна. **Б.** Можна тільки влітку. **В.** Можна тільки взимку. **Г.** Можна будь-коли. **Д.** Можна тільки навесні.
4. Чи можна в Австралії та Україні одночасно побачити Полярну зорю?
А. Не можна. **Б.** Можна тільки влітку. **В.** Можна тільки взимку. **Г.** Можна будь-коли. **Д.** Можна тільки восени.
5. Як називаються точки перетину небесної сфери з віссю обертання Землі, що продовжена в космос?
А. Зеніт. **Б.** Надир. **В.** Полюс світу. **Г.** Географічний полюс. **Д.** Обрій.
6. Коли настає кульмінація Сонця?
7. У які дні року Сонце сходить у точці сходу й заходить у точці заходу?
8. Чи можна в Австралії за допомогою Полярної зорі визначити напрямок на північ?
9. Як можна на Північному полюсі Землі визначити напрямок на південь?
10. Відшукайте на карті зоряного неба якусь яскраву зорю. За допомогою накладного круга до карти виміряйте моменти, коли сходить, заходить і кульмінує ця зоря.
11. За допомогою *рухомої карти зоряного неба* визначте, які сузір'я ніколи не заходять для спостерігача в Україні.



Диспути на запропоновані теми

12. Чи можна користуватися нашою картою зоряного неба на поверхні інших планет Сонячної системи? Під час міжпланетних польотів? На планетах, які обертаються навколо інших зір?



Завдання для спостережень

13. Знайдіть Полярну зорю та визначте напрям меридіана з півночі на південь відносно вашого будинку. Намалуйте схему розташування вашого будинку щодо меридіана та визначте кут між меридіаном і будь-якою стіною вашого будинку.
14. Лабораторна робота №1 «Визначення географічної широти на місцевості за допомогою Полярної зорі» (с. 141).



Ключові поняття і терміни:

Зеніт, кульмінація, небесний екватор, небесний меридіан, небесна сфера, пряме сходження, полюси світу, схилення, точка весняного рівнодення.

§ 3. Вимірювання часу та календар

Вивчивши цей параграф, ми дізнаємось:

- як за допомогою Сонця визначають час;
- на скільки хвилин місцевий час відрізняється від київського часу;
- що спричиняє зміну пір року на Землі;
- чому неможливо створити ідеальний календар.

1 Вимірювання часу

Час є філософською, фізичною та соціальною категорією, тому задача точного вимірювання часу є однією з найважливіших проблем сучасної науки. З нашого досвіду відомо, що час «тече» рівномірно, подібно до води в спокійній, тихій річці. За цим принципом були в давнину сконструйовані водяні та пісочні годинники. З часом був створений механічний годинник, дія якого основана на принципі періодичних коливань маятника, що довго може зберігати сталим період своїх коливань. Принцип дії найточніших сучасних електронних годинників базується на використанні коливань в електромагнітному полі кристалів або навіть окремих молекул. Хоча годинники протягом віків змінювали вигляд (рис. 3.1, 3.2) і збільшувалась точність вимірювань, деякі одиниці для визначення часу залишилися одними й тими самими — *рік* та *доба*, бо вони пов'язані з рухом Землі навколо Сонця та її обертанням навколо своєї осі.

Для визначення кутової швидкості обертання Землі орієнтирами можуть служити небесні світила — Сонце, зорі та інші небесні світила. Тому і використовують дві системи відліку часу — *зоряний час* і *сонячний час*. Зоряний час переважно використовують астрономи, а в повсякденному житті всі люди застосовують тільки *сонячний час*. Проміжок часу, за який Земля робить повний оберт навколо своєї осі відносно Сонця, називають *сонячною добою*. Доба поділяється на 24 години. За традицією початок сонячної доби (0 год) настає опівночі.

Сонячний час у певному місці, або *місцевий час*, можна визначити за допомогою сонячного годинника — звичайної палички, тінь від якої допоможе приблизно виміряти місцевий час. *Місцевий полудень* — 12 година за місцевим часом — настає о тій порі,

Сонячна доба — час, за який Земля робить повний оберт навколо своєї осі відносно Сонця.
1 год = 1/24 доби
1 год = 60 хв = 3600 с

Рис. 3.1. Старовинний сонячний годинник



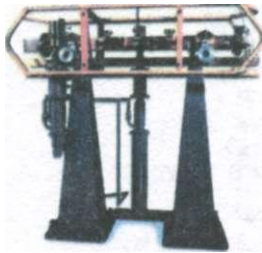


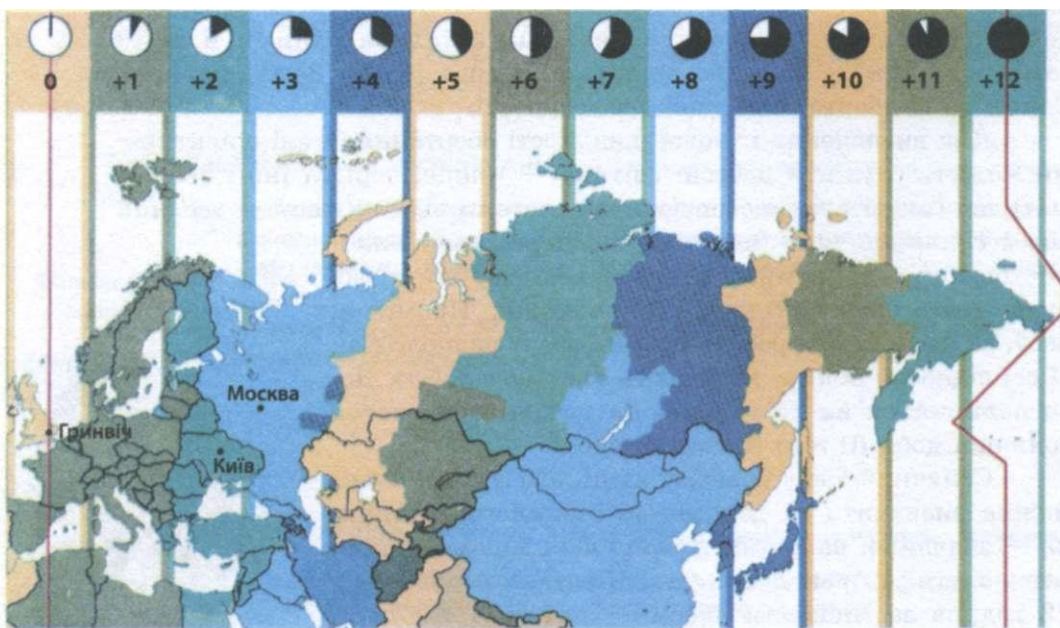
Рис. 3.2. Перший атомний годинник

коли триває верхня кульмінація Сонця,— тоді тінь від палички найкоротша (див. §2).

У повсякденному житті користуватись місцевим часом незручно, бо в кожній точці на поверхні Землі він різний, і ми, переїжджаючи від одного місця до іншого, мусили б постійно переводити стрілки годинника на кілька хвилин. Ця проблема усувається, якщо користуватись *поясним часом*, який запровадили в кінці XIX ст. Землю поділили меридіанами на 24 годинні пояси і домовились, що всі годинники в одному поясі будуть показувати однаковий час, який дорівнює місцевому часу середнього меридіана (рис. 3.3). Мандрівники переводять годинники на одну годину тільки у випадку, коли вони перетинають межу відповідного поясу.

Рис. 3.3. Годинні пояси. Земля поділена на 24 пояси, у кожному з яких всі годинники показують однаковий час. Переїжджаючи з одного поясу в інший, мандрівники переводять стрілки годинників на ціле число годин

Нульовий пояс проходить через Гринвіцький меридіан, тому годинники у Великій Британії показують місцевий час Гринвіцького меридіана — цей час називають *всесвітнім часом*. У сучасних мобільних телефонах місцевий час нульового поясу позначають GMT (з англ. *Гринвіцький середній час*). Західна Європа живе за часом першого поясу, який на 1 годину випереджає всесвітній. Україна розташована у другому поясі, тому час, за яким живуть її



мешканці (*київський час*), випереджає всесвітній час на 2 години. Якщо поїхати на захід, до Польщі, то стрілки наших годинників треба перевести на 1 годину назад, а якщо подорожувати на схід, до Росії, наприклад до Москви,— то на 1 годину вперед.

Різниця між місцевим і київським часом визначається різницею географічних довгот Києва та місця спостереження. Наприклад, ми хочемо визначити різницю між київським і місцевим часом у Харкові. Довгота Харкова $X_x = 36^\circ = 2 \text{ год } 25 \text{ хв}$, довгота Києва $X_k = 30^\circ = 2 \text{ год } 00 \text{ хв}$. Тобто місцевий час у Харкові на 25 хвилин попереду київського часу, тому взимку Сонце у Харкові кульмінує приблизно об 11 год 35 хв за київським часом.

На меридіані з довготою 180° проходить *лінія зміни дат*. Для тих, хто її перетинає, є можливість подорожувати не тільки в просторі, а й у часі. Наприклад, якщо летіти з Азії на схід, в Америку, 1 січня, то наступний день теж буде 1 січня, тобто виникає на перший погляд фантастична можливість прожити той самий день двічі. Зате коли пасажир летять у зворотному напрямку, з Америки на захід, в Азію, то протягом перельоту за кілька годин можна прожити 2 доби — після 1 січня зразу настане 3 січня.

Місцевий час визначається за допомогою сонячного годинника. Кожний меридіан має свій місцевий час

Поясний час дорівнює місцевому часу середнього меридіана відповідного поясу

Всесвітній час (англ. UT) — місцевий час Гринвіцького меридіана. Всесвітній час застосовують в астрономії для визначення моментів різних космічних подій

Київський час — час другого поясу, який на 2 години випереджає всесвітній час



Для допитливих

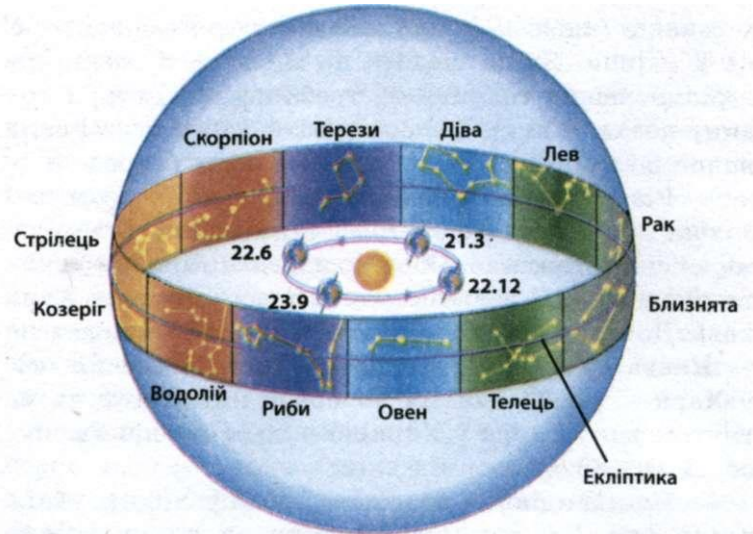
Весною, в останню неділю березня, всі годинники більшості країн Європи переводять на 1 годину вперед, запроваджується так званий літній час, тому влітку київський час буде випереджати місцевий час усіх міст України. Фактично, Західна Європа переходить на київський час, а Україна — на московський. Наприклад, улітку місцевий час навіть на сході України, в Луганську, відстає від київського на 23 хв, і полудень на Луганському меридіані настає о 12 год 23 хв за київським часом. Правда, не в усіх країнах світу переводять стрілки годинника на літній час. Немає сенсу вводити літній час у тропічній зоні, бо там тривалість дня протягом року майже однакова — 12 год. У Росії на значній території тривалість літнього дня перевищує 20 год, тому там теж відмовились від переводу стрілок годинника. З березня 2011 року в Росії ввели постійний літній час, тому московський час взимку буде випереджати київський на 2 години.

2

Сонячний час та зодіак

Слово зодіак (від грец.— *коло із зображень тварин*) уперше почали вживати для визначення особливих сузір'їв ще кілька тисяч років тому. Ця назва пов'язана з тим, що Сонце, Місяць і планети Сонячної системи можна спостерігати на тлі 12 зодіакальних сузір'їв,

Рис. 3.4. Орбіта Землі та зодіак. Площина, у якій обертається Земля навколо Сонця, залишається сталою відносно зір. Лінія перетину площини орбіти Землі з уявною небесною сферою має назву *екліптика*. 12 сузір'їв, які перетинає екліптика, називають зодіакальними



Зодіак	
Овен	♈
Телець	♉
Близнята	♊
Рак	♋
Лев	♌
Діва	♍
Терези	♎
Скорпіон	♏
Стрілець	♐
Козеріг	♑
Водолій	♒
Риби	♓

які утворюють на небесній сфері велике коло, і серед назв цих сузір'їв переважають назви живих істот.

На рис. 3.4 зображено орбіту Землі, далекі сузір'я та через кожні 30° проведені лінії, які позначають положення нашої планети відносно зір через кожний місяць. Таким чином, ми можемо позначати рух Землі по орбіті та відраховувати великі проміжки часу.

За початок відліку руху Землі візьмемо точку весняного рівнодення. Якщо 21 березня з'єднати Землю і Сонце прямою лінією та продовжити її у космос, то ця пряма десь у далечині перетинає уявну небесну сферу у двох діаметрально протилежних точках, одна з яких розташована в сузір'ї Діви (з боку Землі), а інша — у сузір'ї Риб (за Сонцем).

У березні сузір'я Риб не видно, бо воно перебуває за Сонцем. Астрономи цей момент описують так: «21 березня Сонце розташоване у напрямку сузір'я Риб у точці весняного рівнодення».

Рухаючись разом із Землею по орбіті, ми протягом року спостерігатимемо Сонце в різних напрямках на тлі різних сузір'їв. Якщо кожного дня позначати положення центра Сонця відносно далеких зір, то можна отримати велике коло небесної сфери, яке називається екліптикою (від грец.— *затемнення*). Математичне визначення екліптики — це лінія перетину площини орбіти Землі з небесною сферою, тобто *площина екліптики збігається з площиною орбіти Землі*.

Рис. 3.5. Явище прецесії демонструє дитяча дзига, що обертається навколо власної осі, у той час як її вісь описує конус у просторі



Площина екліптики протягом століть займає стале положення відносно зір, але полюси світу поступово зміщуються у космічному просторі — це явище називають прецесією (від лат.— *випередження*, рис. 3.5). Вісь обертання Землі описує у космосі конус із періодом 26000 років. І якщо в наш час Північний полюс світу розташований у сузір'ї Малої Ведмедиці, то через 13000 років він переміститься у сузір'я Ліри, і наші нащадки будуть визначати напрямок на північ за допомогою зорі *Вега*. Внаслідок прецесії змінюється також положення площини небесного екватора серед зір, тому в майбутньому в Україні не буде видно сузір'я *Оріон*, зате наші нащадки побачать найближчу до нас зорю *Проксиму Кентавра*.

Прецесія — зміщення осі обертання Землі відносно зір. Вісь Землі описує в космосі конус із періодом 26000 років



Для допитливих

Зверніть увагу на те, що точка весняного рівнодення міститься у сузір'ї Риб, але позначається знаком Овна. Причина такої дивної невідповідності полягає в тому, що внаслідок прецесії точка весняного рівнодення Υ поступово зміщується відносно зір на $50''$ щорічно. Тобто за останні 2000 років точка весняного рівнодення перемістилась майже на 30° , і через кілька десятків років буде вже розташовуватись у сузір'ї Водоля. Ще через 13000 років точка весняного рівнодення переміститься в сузір'я Діви, а точка осіннього рівнодення буде спостерігатись у сузір'ї Риб.

3 Зміна пір року на Землі

З курсу природознавства відомо, що вісь обертання Землі нахилена до площини орбіти під кутом $66,5^\circ$, і це призводить до зміни пір року на Землі. Якби вісь обертання Землі була перпендикулярною до площини орбіти, то зміни пір року не відбувалося б, бо Сонце протягом року освітлювало б рівномірно Північну та Південну півкулі нашої планети. Зараз такі дні, коли Сонце однаково освітлює дві півкулі Землі, настають тільки двічі на рік — весною 20—21 березня і восени 22—23 вересня, коли на всіх материках однакова тривалість дня — 12 годин. В інші місяці тривалість дня більша або менша за 12 годин і залежить від географічної широти місця спостереження. Найдовший день у Північній півкулі настає 21—22 червня — початок астрономічного літа, а у Південній півкулі в цей

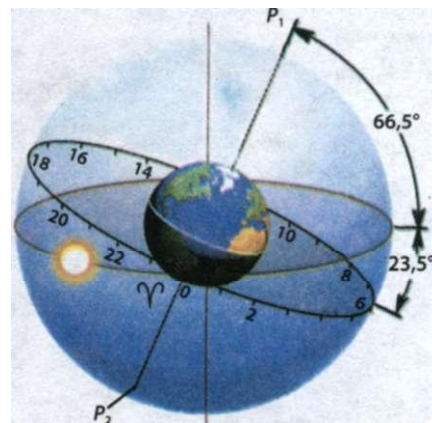
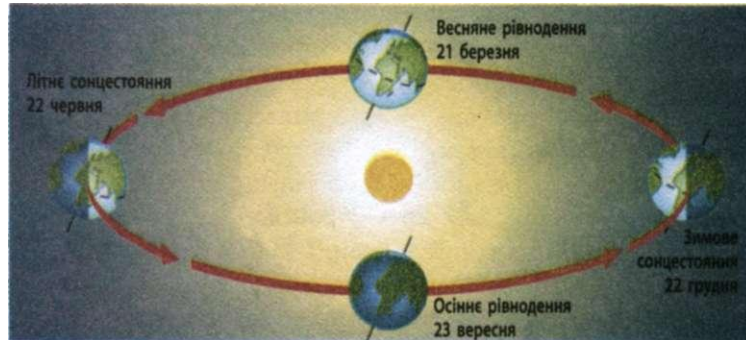


Рис. 3.6. Кут між площинами екватора та екліптики $23,5^\circ$, а кут між площиною екліптики та полюсом світу $66,5^\circ$. Це є причиною зміни пір року на Землі

Рис. 3.7. Освітлення Землі сонячними променями взимку і влітку. Найбільше енергії від Сонця отримує тропічна зона, де опівдні сонячні промені можуть падати перпендикулярно до горизонту. Широта тропіків $\pm 23,5^\circ$



день починається астрономічна зима. Через півроку 21—22 грудня, навпаки, у Північній півкулі настає астрономічна зима, а в Південній — літо. (Рис. 3.7, 3.8.)

На широті 50° (Київ, Львів, Харків) тривалість найдовшого дня 22 червня — 16 год 20 хв — у два рази більша за тривалість найкоротшого дня 22 грудня — 8 год. На широті 45° різниця між найдовшим і найкоротшим днем трохи зменшується, тому в Криму найдовший день триває 15 год 30 хв, а найкоротший — 8 год 40 хв.

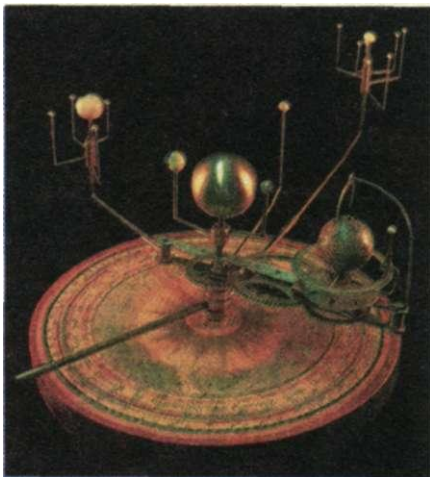
Найбільше сонячної енергії поверхня Землі отримує опівдні, коли настає верхня кульмінація Сонця, а найменше — вранці та ввечері. Вночі Земля тільки охолоджується, тому середня температура поверхні залежить також від тривалості дня і ночі. Наприклад, на широті 50° кількість енергії, яку отримує поверхня за літній день, досягає

25000 кДж/м^2 . Цікаво, що ця енергія навіть більша, ніж на екваторі, де цілий рік тривалість дня не змінюється і дорівнює 12 годинам.

Узимку коротка тривалість дня та невелика висота Сонця над горизонтом призводять до значного зменшення сонячної енергії, що обігріває поверхню Землі. Наприклад, у грудні кількість енергії, яку отримує одиниця поверхні на наших широтах протягом дня, майже у 7 разів менша, ніж у літній день.

Сучасний нахил осі обертання до площини орбіти під кутом $66,5^\circ$ є оптимальним для різноманітних кліматичних зон на поверхні Землі — від тропіків до полярного кола. Усі інші варіанти зміни кута нахилу осі обертання Землі призвели б до катастрофічних змін клімату і глобальної екологічної катастрофи. Наприклад,

Рис. 3.8. Механічний прилад XIX ст., який демонстрував рух планет і зміну пір року на Землі



якби вісь обертання Землі була нахилена до площини орбіти під кутом 50° , то полярне коло проходило б через Україну, а тропіки — через Чорне море. На наших широтах влітку протягом місяця Сонце не заходило б за горизонт, а опівдні кульмінація була б поблизу zenіту. Розрахунки показують, що літня температура поверхні в Україні досягала б критичних для життя меж від $+60$ до $+80^\circ\text{C}$. В іншому випадку, якби вісь обертання Землі була перпендикулярною до площини орбіти, зміни пір року взагалі не було б, тому Європа могла б перетворитись на холодну напівпустелю типу тундри.



Для допитливих

У полярних країнах різниця між найдовшим і найкоротшим днем збільшується. Наприклад, у Москві найдовший день триває 17 год 40 хв, а найкоротший — 7 год, у С.-Петербурзі відповідно — 19 та 6 год. На широті С.-Петербурга у червні Сонце ненадовго заходить за горизонт, унаслідок цього спостерігаються «білі ночі». Цей період триває майже місяць, коли вночі видно яскраві зорі тільки в південній частині небосхилу, а північний обрій настільки яскравий, що опівночі можна читати книги.

Поблизу полюсів є області, де Сонце кілька місяців не заходить за горизонт — тоді влітку спостерігається полярний день. Узимку, навпаки, у полярних районах кілька місяців Сонце не сходить — настає полярна ніч. Границі цих областей називаються полярними колами. Вони розташовані на широті $66,5^\circ$ обох півкуль.

На самих полюсах полярний день триває півроку і стільки ж триває полярна ніч. Наприклад, на Північному полюсі Сонце сходить 21 березня і заходить 23 вересня. У цей період схилення Сонця більше за нуль. На Південному полюсі, навпаки, полярний день триває від 23 вересня до 21 березня.

4

Календарі

У сучасному календарі усіх європейських країн за основу береться 1 *тропічний рік* — період обертання Землі навколо Сонця відносно точки весняного рівнодення Υ але при створенні ідеального календаря виникає ускладнення, бо тропічний рік не має цілого числа діб.

Довгий час в Європі користувалися *юліанським календарем*, який був запроваджений ще Юлієм Цезарем у 46 році до н. е. У цьому календарі тривалість тропічного року була прийнята за 365 діб 6 год 00 хв 00 с, а для того щоб рік мав ціле число діб, було прийнято, що кожні 3 роки підряд триватимуть по 365 діб, а четвертий рік — 366 діб (*високосний рік*). Але

Тропічний рік
(365 діб 5 год 48 хв 46 с) — період обертання Землі навколо Сонця відносно точки весняного рівнодення

§3. ВИМІРЮВАННЯ ЧАСУ ТА КАЛЕНДАР

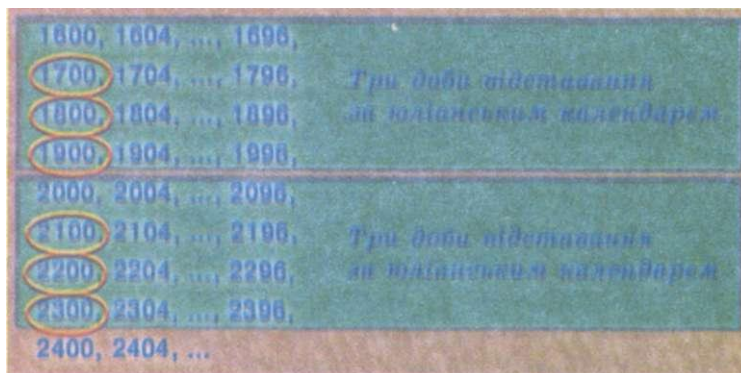
Прості роки мають 365 днів
Високосний рік має 366 днів. Цю додаткову добу вводять 29 лютого

За григоріанським календарем рік вважається високосним, якщо він ділиться на 4 без остачі, крім тих років, які закінчуються на два нулі і число сотень яких не ділиться на 4

в середньому кожний календарний рік був довший за тропічний на 11 хв 14 с (365 днів 6 год 00 хв 00 с - 365 днів 5 год 48 хв 46 с). Тобто коли тропічний рік уже реально закінчувався, рік за юліанським календарем тривав ще 11 хв 14 с. Тому за чотири роки похибка накопичувалася і календар відставав уже на 44 хв 56 с, а за 400 років — майже на 3 доби.

Григоріанський календар, що діє в наш час, виправив цю неточність. У ньому вилучили три доби з кожних 400 років, тобто три високосні роки зробили простими. На рис. 3.9 показано, які роки були високосними за юліанським календарем, а кружечком обведені ті, які стали простими за григоріанським. Легко помітити, що це ті роки, які закінчуються двома нулями і число сотень яких не ділиться на чотири без остачі. Григоріанський календар теж не є ідеальним, але похибку на одну добу він дає приблизно через 33 століття.

Рис. 3.9. Високосні роки за юліанським календарем. Кружечком обведені роки, які за григоріанським календарем не є високосними



Для допитливих

Нову реформу календаря було здійснено в 1582 році за пропозицією Папи Римського Григорія XIII. Для того щоб виправити накопичену на той час помилку, оголосили, що 1582 рік триватиме тільки 355 днів. Новий календар був названий григоріанським (або новим стилем) на честь Папи Римського і поступово був уведений у всіх країнах Європи та Америки. Тепер різниця між юліанським і григоріанським календарями досягла вже 13 днів і збережеться ще в XXI ст. У цивільному житті України новий стиль був запроваджений урядом Центральної Ради в 1918 році.



Висновки

За допомогою небесних світил можна визначати час. Період обертання Землі навколо осі використовують для відліку годин, хвилин і секунд. Період обертання Землі навколо Сонця використовують при створенні календарів для відліку тривалих проміжків часу.



Тести

1. Тропіки — це така географічна широта, де:
А. Ростуть пальми. **Б.** Сонце ніколи не заходить. **В.** Під час сонцестояння Сонце кульмінує в зеніті. **Г.** Під час рівнодення Сонце кульмінує в зеніті.
Д. Ніколи не випадає дощ.
2. Полярне коло — це така географічна широта, де:
А. Цілий рік не тоне сніг. **Б.** Живуть білі ведмеді. **В.** Півроку триває ніч, а півроку — день. **Г.** Під час рівнодення Сонце кульмінує в зеніті. **Д.** У день зимового сонцестояння Сонце не сходить.
3. Під яким кутом до площини орбіти нахилена вісь обертання Землі?
А. 0° . **Б.** $23,5^\circ$. **В.** 45° . **Г.** $66,5^\circ$. **Д.** 90° .
4. Чому дорівнює кут між площинами екватора та екліптики?
А. 0° . **Б.** $23,5^\circ$. **В.** 45° . **Г.** $66,5^\circ$. **Д.** 90° .
5. Скільки триває найдовший день на полярному колі?
А. 12 год. **Б.** 24 год. **В.** 1 місяць. **Г.** 3 місяці. **Д.** Півроку.
6. Що є причиною зміни пір року на Землі?
7. Чому влітку набагато тепліше, ніж взимку, хоча світить нам одне й те Сонце?
8. Чому виникла необхідність реформи юліанського календаря?
9. В Україні за стародавньою традицією зустрічають так званий старий Новий рік — 14 січня. Звідки походить ця традиція?
10. Де на Землі тривалість дня протягом року не змінюється?
11. За допомогою тіні від гномона визначте висоту Сонця над горизонтом під час верхньої кулмінації. Як змінюється цей кут протягом місяця?
12. Де пізніше заходить Сонце: у Львові чи у Харкові?
13. За допомогою карти зоряного неба визначте екваторіальні координати Сонця на день вашого народження. У якому сузір'ї спостерігається Сонце в цей день? Чи збігається це сузір'я зі знаком зодіаку в гороскопах на цей день?



Диспути на запропоновані теми

14. Яким, на вашу думку, був би клімат на Землі, якби вісь обертання була нахилена до площини екліптики під кутами: 90° , 45° , 0° ?



Завдання для спостережень

15. Проведіть спостереження заходу або сходу Сонця в день рівнодення — 23 вересня або 21 березня. Сонце у ці дні сходить у точці сходу та заходить у точці заходу. Намалуйте положення цих точок відносно вашого будинку.



Ключові поняття і терміни:

Високосний рік, доба, екліптика, зодіак, календар, місцевий час, поясний час, тропічний рік.

§ 4. Закони руху планет

Вивчивши цей параграф, ми:

- дізнаємося про закони Кеплера, згідно з якими рухаються планети у Сонячній системі;
- спробуємо збагнути суть закону всесвітнього тяжіння, що керує рухом усіх космічних тіл — від планет до галактик.

1 Конфігурації планет

Усі планети світяться відбитим сонячним промінням, тому краще видно ту планету, яка розташована ближче до Землі, за умови, якщо до нас повернена її денна, освітлена Сонцем півкуля.

Конфігураціями планет називають характерні взаємні положення планет відносно Землі й Сонця

На рис. 4.1 зображено *протистояння (ПС) Марса* (Mj), тобто таку конфігурацію, коли Земля буде перебувати на одній прямій між Марсом і Сонцем. У протистоянні яскравість планети найбільша, тому що до Землі повернена вся її денна півкуля.

Орбіти двох планет, Меркурія і Венери, розташовані ближче до Сонця, ніж Земля, тому в протистоянні вони не бувають. У положенні, коли Венера чи Меркурій перебувають найближче до Землі, їх не видно, бо до нас повернена нічна півкуля

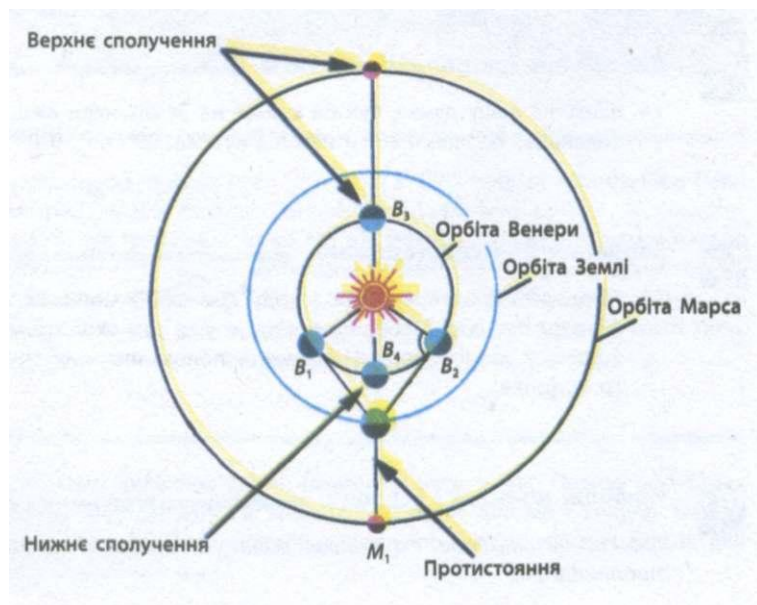


Рис. 4.1. Конфігурації Венери і Марса. Протистояння Марса — планета перебуває найближче до Землі, її видно всю ніч у протилежному від Сонця напрямку. Венеру найкраще видно ввечері у східну елонгацію ліворуч від Сонця S, та вранці під час західної елонгації праворуч від Сонця B₂

планети (рис. 4.1). Така конфігурація називається *нижнім сполученням* із Сонцем. У верхньому сполученні планету теж не видно, бо між нею і Землею розташовується яскраве Сонце.

Найкращі умови для спостереження Венери і Меркурія бувають у конфігураціях, які називаються *елонгаціями*. Східна елонгація (СЕ) — це момент положення, коли планету видно ліворуч від Сонця ввечері **Ву**, Західна елонгація (ЗЕ) Венери спостерігається вранці, коли планету видно праворуч від Сонця у східній частині небосхилу **В₂**. Конфігурації яскравих планет наведено у таблиці.

Протистояння — планету видно із Землі цілу ніч у протилежному від Сонця напрямку

Елонгація — видима з поверхні Землі кутова відстань між планетою і Сонцем

Конфігурації яскравих планет

Планета	2011 р.	2012 р.	2013 р.	2014 р.	2016 р.
Венера	8.01 (ЗЕ)	22.03 (СЕ)	1.11 (СЕ)	22.03 (ЗЕ)	6.06 (СЕ)
Марс	—	3.03 (ПС)	18.04 (Сп)	8.04 (ПС)	14.06 (Сп)
Юпітер	29.10 (ПС)	3.12 (ПС)	19.06 (Сп)	5.01 (ПС)	6.02 (ПС)
Сатурн	4.04 (ПС)	15.04 (ПС)	28.04 (ПС)	10.05 (ПС)	23.05 (ПС)

Умовні позначення: ПС — протистояння, планету видно цілу ніч; Сп — сполучення із Сонцем, планету не видно; СЕ — східна елонгація, планету видно ввечері в західній частині обрію; ЗЕ — західна елонгація, планету видно вранці у східній частині небосхилу.

Увага! Вранці 6 червня 2012 року відбудеться проходження Венери по диску Сонця, коли планета в нижньому сполученні перетинає площину екліптики. Наступне проходження треба чекати до грудня 2117 року.

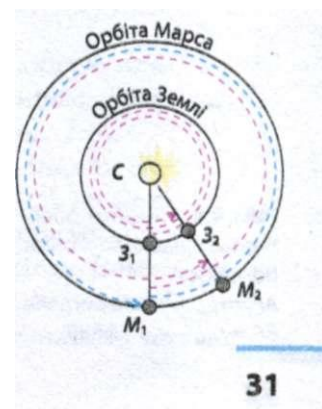
2 Сидеричний і синодичний періоди обертання планет

Сидеричний період обертання визначає рух тіл відносно зір. Це час, протягом якого планета, рухаючись по орбіті, робить повний оберт навколо Сонця (рис. 4.2).

Синодичний період обертання визначає рух тіл відносно Землі і Сонця. Це проміжок часу, через який спостерігаються одні й ті самі послідовні конфігурації планет (протистояння, сполучення, елонгації).

Рис. 4.2. Шлях, що відповідає сидеричному періоду обертання Марса навколо Сонця, зображено пунктиром синього кольору, синодичному — пунктиром червоного кольору.

$$T_9 = p_1^* \cdot W_9^{*1} <^9 p^{0*} y; W_9^{*2-1} p^{*} y$$



§4. ЗАКОНИ РУХУ ПЛАНЕТ

На рис. 4.2 положення $C-3x-Mj$ та $C-32-M^2$ — два послідовних протистояння Марса.

Між синодичним S та сидеричним T періодами обертання планети існує таке співвідношення:

$$\frac{1}{T} = \frac{1}{T_{\oplus}} \pm \frac{1}{S}, \quad (4.1)$$

де $T_{\oplus} = 1$ рік = 365,25 доби — період обертання Землі навколо Сонця. У формулі (4.1) знак «+» застосовується для Венери і Меркурія, які обертаються навколо Сонця швидше, ніж Земля. Для інших планет застосовується знак «-».

3 Закони Кеплера

Йоганн Кеплер (рис. 4.3) визначив, що Марс рухається навколо Сонця по еліпсу, а потім було доведено, що й інші планети теж мають еліптичні орбіти.

Перший закон Кеплера. Всі планети обертаються навколо Сонця по еліпсах, а Сонце розташоване в одному з фокусів цих еліпсів (рис. 4.4, 4.5).



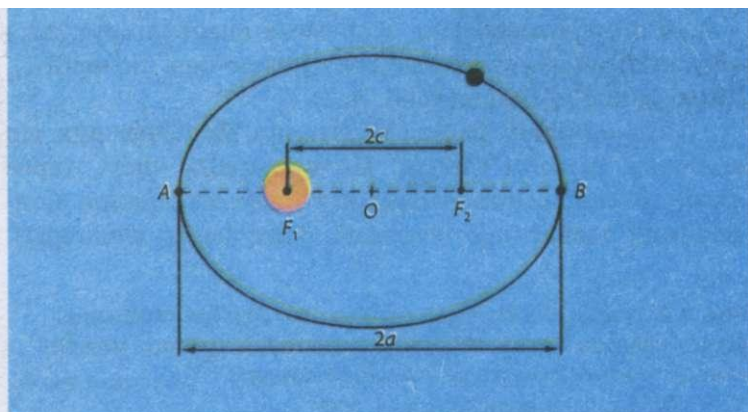
Рис. 4.3. Й. Кеплер (1571—1630)

Головний наслідок із першого закону Кеплера: відстань між планетою та Сонцем не залишається сталою і змінюється в межах: $r_{\max} < r < r_{\min}$.

Точка A орбіти, де планета наближається на найменшу відстань до Сонця, називається перигелієм (від грец. peri — поблизу, helios — Сонце), а найвіддаленішу від центра Сонця точку B орбіти планети назвали афелієм (від грец. apo — далі). Сума відстаней у перигелії та афелії дорівнює великій осі AB еліпса: $r_{\max} + r_{\min} = 2a$. Велика піввісь земної орбіти

Рис. 4.4. Планети обертаються навколо Сонця по еліпсах.

$AF_1 = r_{\min}$ — у перигелії;
 $BF_1 = r_{\max}$ — в афелії



(OA або OB) називається астрономічною одиницею.
 $1 \text{ а. о.} = 149,6 \cdot 10^6 \text{ км.}$

Ступінь витягнутості еліпса характеризується ексцентриситетом e — відношенням відстані між фокусами $2c$ до довжини великої осі $2a$, тобто $e = \frac{c}{a}$,
 $0 < e < 1$.

Орбіта Землі має маленький ексцентриситет $e = 0,017$ і майже не відрізняється від кола, тому відстань між Землею та Сонцем змінюється в невеликих межах від $r_{\min} = 0,983 \text{ а. о.}$ в перигелії до $r_{\max} = 1,017 \text{ а. о.}$ в афелії.

Орбіта Марса має більший ексцентриситет, а саме $0,093$, тому відстань між Землею та Марсом під час протистояння може бути різною — від 100 млн км до 56 млн км . Значний ексцентриситет ($e = 0,8 \dots 0,99$) мають орбіти багатьох астероїдів і комет, а деякі з них перетинають орбіту Землі та інших планет, тому інколи відбуваються космічні катастрофи під час зіткнення цих тіл.

Супутники планет теж рухаються по еліптичних орбітах, причому у фокусі кожної орбіти розміщений центр відповідної планети.

Другий закон Кеплера. Радіус-вектор планети за однакові проміжки часу описує рівні площі.

Головний наслідок другого закону Кеплера полягає в тому, що під час руху планети по орбіті з часом змінюється не тільки відстань планети від Сонця, але і її лінійна та кутова швидкості.

Найбільшу швидкість планета має в перигелії, коли відстань до Сонця є найменшою, а найменшу швидкість — в афелії, коли відстань є найбільшою.

Другий закон Кеплера фактично визначає відомий фізичний закон збереження енергії: сума кінетичної та потенціальної енергії в замкненій системі є величиною сталою. Кінетична енергія визначається швидкістю планети, а потенціальна — відстанню між планетою та Сонцем, тому при наближенні до Сонця швидкість планети зростає (рис. 4.6).

Якщо перший закон Кеплера перевірити в умовах школи досить важко, бо для цього треба виміряти відстань від Землі до Сонця взимку та влітку, то другий закон Кеплера може перевірити кожний учень. Для цього треба переконатися, що швидкість Землі протягом року змінюється. Для перевірки можна використати звичайний календар і порахувати тривалість півріччя від весняного до

Земля в перигелії
 3—4 січня наближається до Сонця на найменшу відстань — 147 млн км
Земля в афелії
 3—4 липня віддаляється від Сонця на найбільшу відстань — 153 млн км

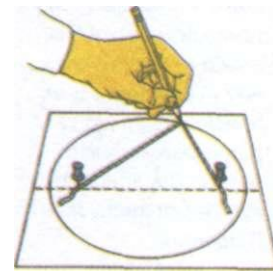


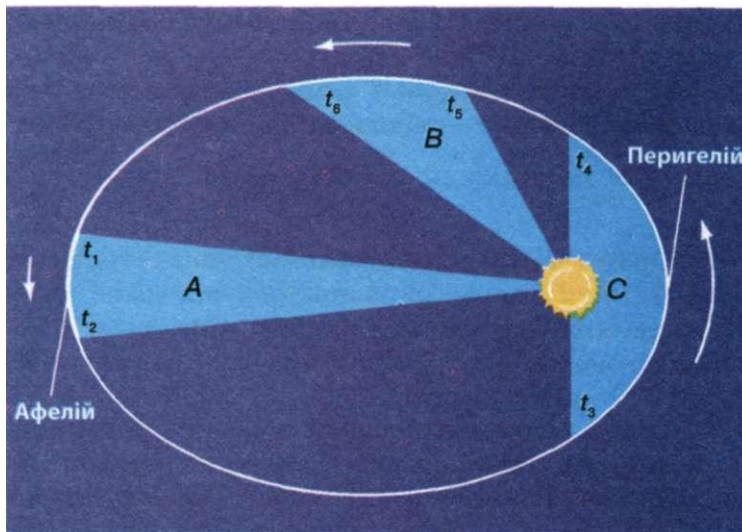
Рис. 4.5. Як правильно нарисувати еліпс

Найбільшу швидкість Земля має взимку:
 $V_{\max} = 30,38 \text{ км/с}$
Найменшу швидкість Земля має влітку:
 $V_{\min} = 29,36 \text{ км/с}$

§4. ЗАКОНИ РУХУ ПЛАНЕТ

Рис. 4.6. При наближенні до Сонця швидкість планети зростає, а при віддаленні — зменшується. Якщо відрізки часу $t_2 - t_1 = t_4 - t_3 = t_6 - t_5$, то площі $S_A = S_B = S_C$

У липні Земля рухається повільніше, тому тривалість літа в Північній півкулі більша, ніж у Південній. Цим пояснюється, що середньорічна температура Північної півкулі Землі вища, ніж Південної



осіннього рівнодення (21.03—23.09) та, навпаки, від 23.09 до 21.03. Якби Земля оберталася навколо Сонця з постійною швидкістю, то кількість днів у цих півріччях була б однаковою. Але, згідно з другим законом Кеплера, взимку швидкість Землі більша, а влітку — менша, тому літо в Північній півкулі триває трохи більше, ніж зима, а у Південній півкулі, навпаки, зима трохи довша за літо.

Третій закон Кеплера. Квадрати сидеричних періодів обертання планет навколо Сонця відносяться як куби великих півосей їхніх орбіт.

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3}, \quad (4.2)$$

де T_1 та T_2 — сидеричні періоди обертання будь-яких планет; a_1 та a_2 — великі півосі орбіт цих планет.

Якщо визначити велику піввісь орбіти якоїсь планети чи астероїда, то, згідно з третім законом Кеплера, можна обчислити період обертання цього тіла, не чекаючи, поки воно зробить повний оберт навколо Сонця. Наприклад, у 1930 р. було відкрито нову планету Сонячної системи — Плутон, яка має велику піввісь орбіти

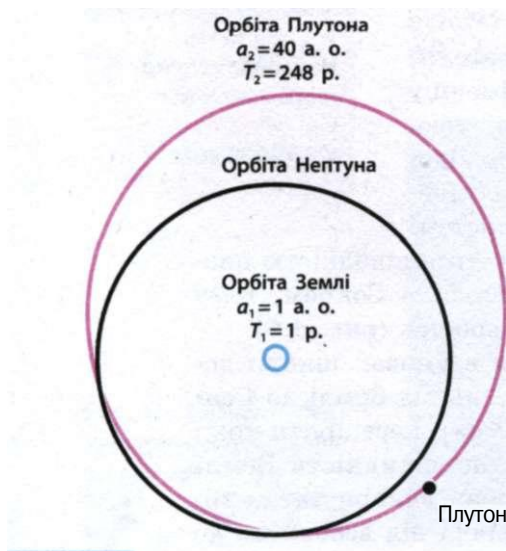


Рис. 4.7. Із спостережень була визначена велика піввісь орбіти Плутона $a_2 = 40$ а. о. Враховуючи параметри орбіти Землі a_1 , T_1 згідно з (4.2), маємо $T_2 = 248$ р.

40 а. о., і відразу ж було визначено період обертання цієї планети навколо Сонця — 248 років. Правда, у 2006 р., згідно з постановою з'їзду Міжнародного Астрономічного Союзу, Плутон перевели в статус планет-карликів, бо його орбіта перетинає орбіту Нептуна. Третій закон Кеплера використовується також і в космонавтиці, якщо треба визначити період обертання навколо Землі супутників, космічних кораблів або обчислити час польоту міжпланетних станцій на інші планети Сонячної системи (див. §5).

4 Закон всесвітнього тяжіння

Великий англійський фізик і математик Ісаак Ньютон довів, що фізичною основою законів Кеплера є фундаментальний закон *всесвітнього тяжіння*, який не тільки зумовлює рух планет у Сонячній системі, але й визначає взаємодію зір у Галактиці. У 1687 р. І. Ньютон сформулював цей закон так: *будь-які два тіла з масами M і m притягуються із силою, величина якої пропорційна добуткові їхніх мас, та обернено пропорційна квадрату відстані між ними* (рис. 4.8):

$$F = G \frac{Mm}{R^2}, \tag{4.3}$$

де G — гравітаційна стала; R — відстань між цими тілами.

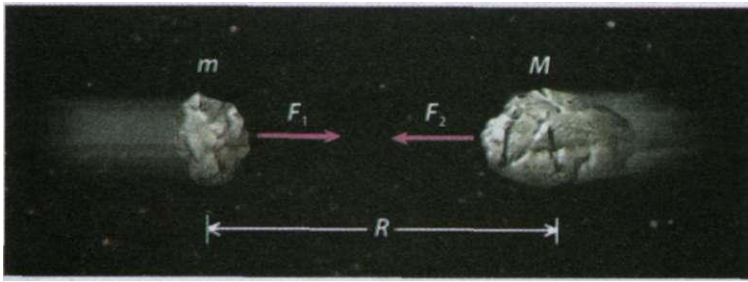


Рис. 4.8. Закон всесвітнього тяжіння

Слід звернути увагу, що формула (4.3) справедлива тільки для двох матеріальних точок. Якщо тіло має сферичну форму і густина всередині розподілена симетрично відносно центра, то масу такого тіла можна вважати за матеріальну точку, яка розміщується в центрі сфери. Наприклад, якщо космічний корабель обертається навколо Землі, то для визначення сили, з якою корабель притягується до Землі, беруть відстань $R+H$ до центра Землі, а не до поверхні (рис. 4.9).

За допомогою формули (4.3) можна визначити вагу космонавтів на будь-якій планеті, якщо відомий її радіус R і маса M (рис. 4.10). Закон всесвітнього тяжіння стверджує, що не тільки планета притягується



Рис. 4.9. Сила тяжіння, яка діє на космічний корабель, залежить від відстані $R+H$ між кораблем і центром Землі



Рис. 4.10. Вага космонавтів залежить від маси планети та її радіуса. На астероїдах космонавти повинні прив'язуватися, щоб не полетіти в космічний простір

до Сонця, але й Сонце притягується з такою самою силою до планети, тому рух двох тіл у гравітаційному полі відбувається навколо спільного центра мас даної системи. Тобто планета не падає на Сонце, бо вона рухається з певною швидкістю по орбіті, а Сонце не падає на планету під дією тієї ж сили тяжіння, бо воно теж обертається навколо спільного центра мас.

У реальних умовах жодна планета не рухається по еліптичній траєкторії, бо закони Кеплера справедливі тільки для двох тіл, які обертаються навколо спільного центра мас. Відомо, що у Сонячній системі обертаються навколо Сонця великі планети та безліч малих тіл, тому кожен планету притягує не тільки Сонце — одночасно притягаються між собою всі ці тіла. У результаті такої взаємодії різних за величиною і напрямком сил рух кожної планети стає досить складним. Такий рух називають збуреним. Орбіта, по якій рухається при збуреному русі планета, не буде еліпсом.

Завдяки дослідженням збурення орбіти планети Уран астрономи теоретично завбачили існування невідомої планети, яку у 1846 р. виявив І. Галле у розрахованому місці, та назвали Нептуном.



Для допитливих

Особливість закону всесвітнього тяжіння полягає в тому, що ми не знаємо, яким чином передається на величезній відстані притягання між тілами. Від часу відкриття цього закону вчені висували десятки гіпотез щодо суті гравітаційної взаємодії, але наші знання сьогодні не набагато більші, ніж за часів Ньютона. Правда, фізики відкрили ще три дивовижні взаємодії між матеріальними тілами, які передаються на відстані: електромагнітна взаємодія, сильна та слабка взаємодії між елементарними частинками в атомному ядрі. Серед цих чотирьох різновидів взаємодії гравітаційні сили є найслабкішими. Наприклад, у порівнянні з електромагнітними силами гравітаційне притягання в 10^{42} разів слабше, але тільки гравітація керує рухом планет, а також впливає на еволюцію цілого Всесвіту. Це можна пояснити тим, що електричні заряди мають різний знак (+ та -), тому великі за масою тіла є в основному нейтральними, і на великій відстані електромагнітна взаємодія між ними досить слабка.

5

Визначення відстаней до планет

Для вимірювання відстаней до планет в астрономічних одиницях можна використати третій закон Кеплера, але для цього треба визначити геометричним методом відстань від Землі до будь-якої планети. Припустимо, що потрібно виміряти відстань L

від центра Землі O до світила S . За базис приймають радіус Землі R_{\oplus} і вимірюють кут $\angle ASO = p$, який називають горизонтальним паралаксом світила, бо одна сторона прямокутного трикутника — катет AS , є горизонтом для точки A (рис. 4.11). *Горизонтальний паралакс* (від грец.— зміщення) світила — це кут, під яким було б видно перпендикулярний до променя зору радіус Землі, якби сам спостерігач перебував на цьому світілі. З прямокутного трикутника OAS визначаємо гіпотенузу OS :

$$OS = L = \frac{R_{\oplus}}{\sin p}. \quad (4.4)$$

Правда, при визначенні паралаксу виникає проблема: як астрономи можуть виміряти кут p з поверхні Землі, не літаючи в космос? Для того щоб визначити горизонтальний паралакс світила S , потрібно двом спостерігачам одночасно з точок A і B виміряти небесні координати (пряме сходження та схилення) цього світила (див. §2). Ці координати, які вимірюють одночасно з двох точок — A і B , трохи відрізняться. На основі цієї різниці координат визначають величину горизонтального паралакса.

Чим далі від Землі спостерігається світило, тим менше буде значення паралакса. Наприклад, найбільший горизонтальний паралакс має Місяць, коли він перебуває найближче до Землі: $p=1^{\circ}01'$. Горизонтальний паралакс планет набагато менший, і він не залишається сталим, бо відстані між Землею та планетами змінюються. Серед планет найбільший паралакс має Венера — $31''$, а найменший паралакс $0,21''$ — Нептун. Для порівняння можна привести приклад, що під кутом $1''$ видно літеру «О» у цій книзі з відстані 100 м — такі крихітні кути змушені вимірювати астрономи для визначення горизонтальних паралаксів тіл у Сонячній системі. Як виміряти відстань до зір, дивись у § 13.

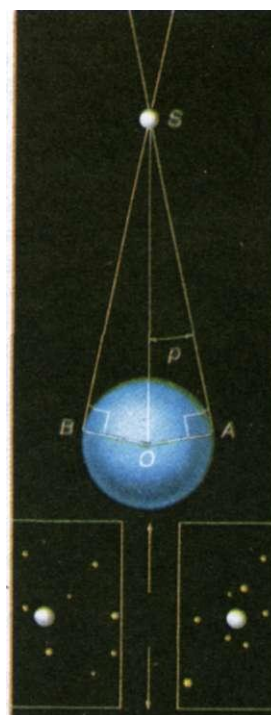


Рис. 4.11. Горизонтальний паралакс p світила визначає кут, під яким із цього світила було б видно перпендикулярний до променя зору радіус Землі

Горизонтальні паралакси деяких тіл	
Місяць	$1^{\circ} = 60'$
Венера	$31''$
Марс	$23''$
Сонце	$8,8''$
Нептун	$0,2''$



Висновки

Усі космічні тіла від планет до галактик рухаються згідно із законом всесвітнього тяжіння, який був відкритий Ньютоном. Закони Кеплера визначають форму орбіти і швидкість руху планет Сонячної системи та їх періоди обертання навколо Сонця.

§4. ЗАКОНИ РУХУ ПЛАНЕТ



Тести

1. Як називається розташування планет у космічному просторі відносно Землі й Сонця?
А. Конфігурація. **Б.** Протистояння. **В.** Космогонія. **Г.** Піднесення. **Д.** Переміщення.
2. У протистоянні можуть спостерігатися такі планети:
А. Сатурн. **Б.** Венера. **В.** Меркурій. **Г.** Юпітер.
3. У сполученні із Сонцем можуть перебувати такі планети:
А. Сатурн. **Б.** Венера. **В.** Меркурій. **Г.** Юпітер.
4. У якому сузір'ї можна побачити Марс під час протистояння, яке відбувається 28 серпня?
А. Лев. **Б.** Козеріг. **В.** Оріон. **Г.** Риби. **Д.** Водолей.
5. Як називається точка орбіти, де планета розміщується найближче до Сонця?
А. Перигелій. **Б.** Перигей. **В.** Апогей. **Г.** Афелій. **Д.** Апекс.
6. Коли Марс видно на небі цілу ніч?
7. Чи можна Венеру побачити в той час, коли вона розміщується найближче до Землі?
8. У яку пору року орбітальна швидкість Землі найбільша?
9. Чому Меркурій важко побачити на небі, хоча він буває яскравішим за Сіріус?
10. Чи можна було б із поверхні Марса побачити Землю під час протистояння Марса?
11. Астероїд обертається навколо Сонця з періодом 3 роки. Чи може цей астероїд зіткнутися із Землею, якщо в афелії він розміщується на відстані 3 а. о. від Сонця?
12. Чи може існувати в Сонячній системі комета, яка в афелії проходить біля Нептуна та обертається навколо Сонця з періодом 100 років?
13. Виведіть формулу для обчислення ваги космонавтів на будь-якій планеті, якщо відомі її радіус і маса.



Диспути на запропоновані теми

14. Як зміниться клімат Землі, якщо ексцентриситет земної орбіти буде дорівнювати 0,5, а велика піввісь залишиться такою, як зараз? Вважати, що кут нахилу осі обертання до площини екліптики залишиться $66,5^\circ$.



Завдання для спостережень

15. Визначте за допомогою астрономічного календаря, яка планета Сонячної системи розташовується найближче до Землі на день вашого народження в поточному році. У якому сузір'ї її можна побачити сьогодні вночі?



Ключові поняття і терміни:

Афелій, елонгація, конфігурації планет, паралакс, перигелій, протистояння, сидеричний і синодичний періоди.

§ 5. Основи космонавтики

Вивчивши цей параграф, ми:

згадаємо тих учених, які зробили значний внесок в освоєння космосу;

дізнаємося, як можна змінювати орбіту космічних кораблів;

довідаємося, яку користь дає космонавтика.

1

Зародження космонавтики

Космонавтика вивчає рух штучних супутників Землі (ШСЗ), космічних кораблів і міжпланетних станцій у космічному просторі. Існує одна суттєва різниця між природними тілами та штучними космічними апаратами: останні за допомогою реактивних двигунів можуть змінювати параметри своєї орбіти.

Значний внесок у створення наукових основ космонавтики, пілотованих космічних кораблів та автоматичних міжпланетних станцій (АМС) зробили українські вчені.

К. Е. Ціолковський (рис. 5.1) створив теорію реактивного руху. У 1902 р. він уперше довів, що тільки за допомогою реактивного двигуна можна досягти першої космічної швидкості.

Український учений Ю. В. Кондратюк (О. Г. Шаргей) (рис. 5.2) у 1918 р. обчислив траєкторію польоту на Місяць, яка була пізніше застосована у СІЛА під час підготовки космічних експедицій «Аполлон».

Видатний конструктор перших у світі космічних кораблів і міжпланетних станцій С. П. Корольов (1906—1966) народився та вчився в Україні. Під його керівництвом 4 жовтня 1957 р. у Радянському Союзі був запущений перший у світі ШСЗ, створені АМС, які першими в історії космонавтики досягли Місяця, Венери та Марса. Найбільшим досягненням космонавтики в той час був перший пілотований політ космічного корабля «Восток», на якому 12 квітня 1961 р. льотчик-космонавт Ю. О. Гагарін здійснив космічну кругосвітню подорож.



Рис. 5.1. К. Е. Ціолковський (1857—1935)



Рис. 5.2. Ю. В. Кондратюк (1898—1942)

2 Колова швидкість

Розглянемо орбіту супутника, який обертається по коловій орбіті на висоті H над поверхнею Землі (рис. 5.3). Для того щоб орбіта була сталою і не змінювала свої параметри, повинні виконуватися дві умови:

1. вектор швидкості має бути напрямлений по дотичній до орбіти;
2. величина лінійної швидкості супутника має дорівнювати *коловій швидкості*, яка визначається рівнянням:

$$V_h = \sqrt{G \frac{M_{\oplus}}{R_{\oplus} + H}}, \quad (5.1)$$

де — $M_{\oplus} = 6 \cdot 10^{24}$ кг — маса Землі; $G = 6,67 \cdot 10^{-11}$ (Н · м²)/кг² — стала всесвітнього тяжіння; H — висота супутника над поверхнею Землі, $R_{\oplus} = 6,37 \cdot 10^3$ м — радіус Землі.

З формули (5.1) випливає, що найбільше значення колова швидкість має при висоті $H = 0$, тобто у тому випадку, коли супутник рухається біля самої поверхні Землі. Така швидкість у космонавтиці називається першою космічною:

$$V_1 = \sqrt{G \frac{M_{\oplus}}{R_{\oplus}}}. \quad (5.2.)$$

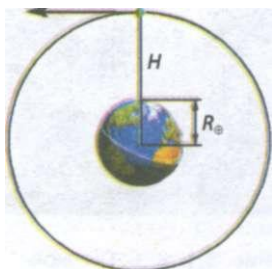


Рис. 5.3. Колова швидкість визначає рух тіла навколо Землі на сталій висоті H над її поверхнею

У реальних умовах жодний супутник не може обертатися навколо Землі по коловій орбіті з першою космічною швидкістю, бо густа атмосфера дуже гальмує рух тіл, що рухаються з великою швидкістю. Якби навіть швидкість ракети в атмосфері досягла величини першої космічної, то великий опір повітря розігрів би її поверхню до такої високої температури, що вона б миттєво розплавилася. Тому ракети під час старту з поверхні Землі спочатку піднімаються вертикально вгору до висоти кілька сотень кілометрів, де опір повітря незначний, і тільки тоді супутникові надається відповідна швидкість у горизонтальному напрямку.

Перша космічна швидкість V_1 — 7,9 км/с — швидкість, яку треба надати тілу для того, щоб воно оберталося навколо Землі по коловій орбіті, радіус якої дорівнює радіусу Землі



Для допитливих

Невагомість під час польоту в космічному кораблі настає в момент, коли припиняють роботу ракетні двигуни. Для того щоб відчутти стан невагомості, не обов'язково летіти в космос. Будь-який стрибок у висоту чи довжину, коли зникає опора для ніг, дає нам короточасне відчуття звичайного стану космічного польоту.

3 Рух космічних апаратів по еліптичних орбітах

Якщо величина швидкості супутника буде відрізнятися від колової або вектор швидкості не буде паралельним до площини горизонту, тоді космічний апарат (КА) буде обертатися навколо Землі по еліптичній траєкторії. Згідно з першим законом Кеплера, в одному з фокусів еліпса повинний міститися центр Землі, тому площина орбіти супутника має перетинати площину екватора або співпадати з нею (рис. 5.4). У цьому випадку висота супутника над поверхнею Землі змінюється в межах від **перигею** до **апогею**. Ці назви аналогічні відповідним точкам на орбітах планет — *перигелію* та *афелію* (див. §4).

Якщо супутник рухається по еліптичній траєкторії, то, згідно з другим законом Кеплера, змінюється його швидкість: найбільшу швидкість супутник має в перигеї, а найменшу — в апогеї.

Перигей
Точка орбіти КА, яка розташована найближче до Землі

Апогей
Точка орбіти КА, яка розташована найдалше від Землі

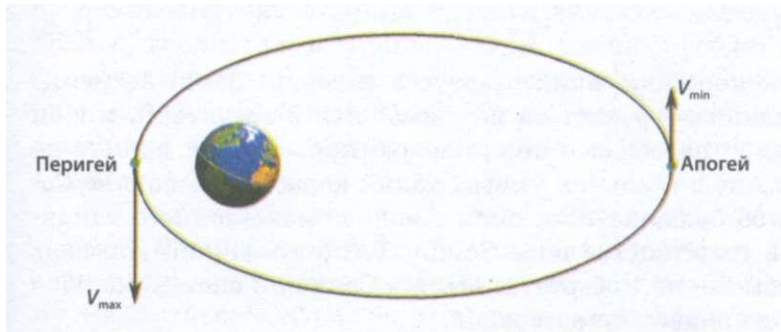


Рис. 5.4. Рух супутника по еліптичній траєкторії схожий на обертання планет у зоні тяжіння Сонця. Зміна швидкості визначається законом збереження енергії: сума кінетичної та потенціальної енергії тіла під час руху по орбіті залишається сталою

4 Період обертання космічного апарата

Період обертання космічного апарата, який рухається навколо Землі по еліпсу зі змінною швидкістю, можна визначити за допомогою третього закону Кеплера (див. §4):

$$\frac{T_C^2}{T_M^2} = \frac{a_C^3}{a_M^3}, \tag{5.3}$$

де T_C — період обертання супутника навколо Землі; $T_M = 27,3$ доби — сидеричний період обертання Місяця навколо Землі; a_C — велика піввісь орбіти супутника; $a_M = 380000$ км — велика піввісь орбіти Місяця. З рівняння (5.3) визначимо:

$$T_C = T_M \sqrt{\frac{a_C^3}{a_M^3}} \tag{5.4}$$

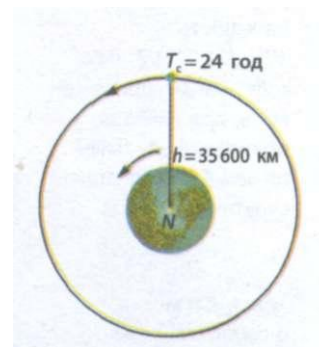


Рис. 5.5. Геостационарний супутник обертається на висоті 35600 км тільки по коловій орбіті в площині екватора з періодом 24 год (Л/ — Північний полюс)

У космонавтиці особливу роль відіграють ШСЗ, які «висять» над однією точкою Землі. Такі супутники називають геостаціонарними, їх використовують для космічного зв'язку (рис. 5.3).



Для допитливих

Для забезпечення глобального зв'язку достатньо вивести на геостаціонарну орбіту три супутники, які мають «висіти» у вершинах правильного трикутника. Зараз на таких орбітах розташовані вже кілька десятків комерційних супутників різних країн, які забезпечують ретрансляцію телевізійних програм, мобільний телефонний зв'язок, комп'ютерну мережу Інтернет. Супутники зв'язку виводять на геостаціонарні орбіти також українські ракети «Зеніт» і «Дніпро».

5

Друга і третя космічні швидкості

Друга і третя космічні швидкості визначають умови відповідно для міжпланетних і міжзоряних перельотів.

Якщо порівняти другу космічну швидкість V_2 з першою V_1 (5.2), то отримаємо співвідношення:

$$V_2 = \sqrt{2}V_1. \quad (5.5)$$

Космічний корабель, який стартує з поверхні Землі з другою космічною швидкістю і рухається по параболічній траєкторії, міг би полетіти до зір, бо парабола є незамкненою кривою, яка прямує до нескінченності. Але в реальних умовах такий корабель не покине Сонячну систему, бо будь-яке тіло, що вийшло за межі земного тяжіння, потрапляє в гравітаційне поле Сонця. Тобто космічний корабель стане супутником Сонця і обертатиметься в Сонячній системі подібно до планет чи астероїдів.

Для польоту за межі Сонячної системи космічному корабелю треба надати третю космічну швидкість $V_3 = 16,7$ км/с. На жаль, потужність сучасних реактивних двигунів ще недостатня для польоту до зір при старті безпосередньо з поверхні Землі. Але, якщо КА пролітає через гравітаційне поле іншої планети, він може отримати додаткову енергію, яка дозволяє в наш час робити міжзоряні польоти. У США уже запустили кілька таких АМС («Піонер-10,11» та «Вояджер-1,2»), які в гравітаційному полі планет-гігантів збільшили свою швидкість настільки, що в майбутньому вилетять за межі Сонячної системи.

Друга космічна швидкість — $V_2 = \sqrt{2}V_1 = 11,2$ км/с, тобто найменша швидкість, при якій тіло покидає сферу тяжіння Землі й може стати супутником Сонця

Третя космічна швидкість — мінімальна швидкість, коли ракета при старті з поверхні Землі може покинути сферу тяжіння Сонця й полетіти в галактичний простір



Для допитливих

Політ на Місяць відбувається в гравітаційному полі Землі, тому КА летить по еліпсу, у фокусі якого буде центр Землі. Найвигідніша траєкторія польоту з мінімальною витратою пального — це еліпс, який є дотичним до орбіти Місяця.

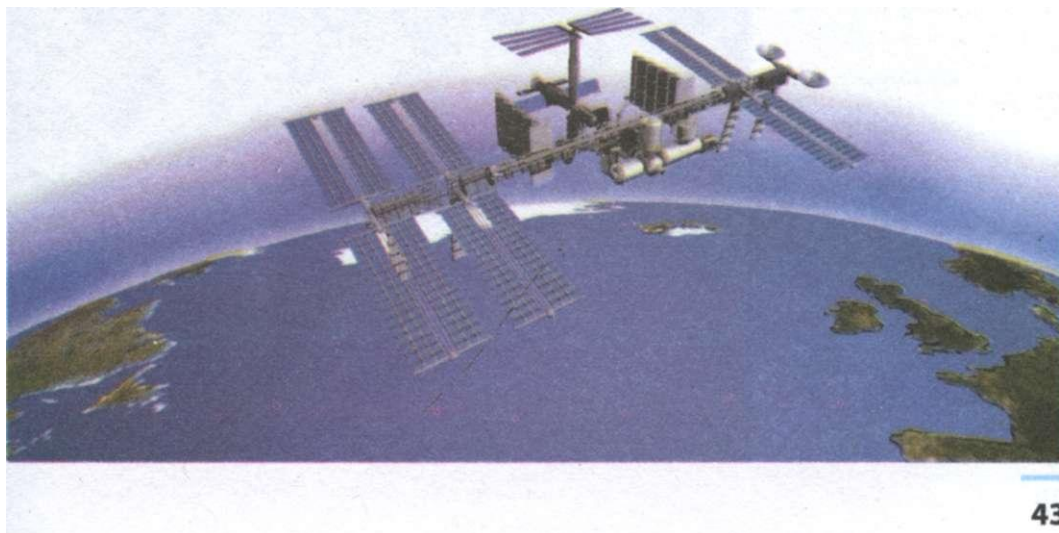
Під час міжпланетних польотів, наприклад, на Марс, КА летить по еліпсу, у фокусі якого перебуває Сонце. Найвигідніша траєкторія з найменшою витратою енергії пролягає по еліпсу, який є дотичним до орбіт Землі й Марса. Точки старту та прильоту лежать на одній прямій по різні боки від Сонця. Такий політ в один бік триває понад 8 місяців. Космонавтам, які в недалекому майбутньому відвідають Марс, треба врахувати ще й те, що одразу ж повернутися на Землю вони не зможуть. Справа в тому, що Земля по орбіті рухається швидше, ніж Марс, і через 8 місяців його випередить. Для повернення космонавтам треба чекати на Марсі ще 8 місяців, поки Земля займе вигідне положення. Тобто загальна тривалість експедиції на Марс буде не менше ніж 2 роки.

6 Практичне використання космонавтики

У наш час космонавтика використовується не тільки для вивчення Всесвіту, але й приносить велику практичну користь людям на Землі. Штучні космічні апарати вивчають погоду, досліджують космос, допомагають вирішувати екологічні проблеми нашої планети, ведуть пошуки корисних копалин, забезпечують радіонавігацію (рис. 5.6, 5.7). Але найбільший успіх космонавтики випав на долю космічних засобів зв'язку, космічного мобільного телефону, телебачення та Інтернету.

Україна бере активну участь у міжнародних космічних програмах. Учені проектують будівництво космічних сонячних електростанцій, які будуть передавати енергію на Землю. У недалекому майбутньому хтось із тих учнів, які зараз вчаться в школі,

Рис. 5.6. Міжнародна космічна станція



полетить на Марс, буде освоювати Місяць та астероїди. Нас чекають загадкові чужі світи і зустріч з іншими формами життя, а можливо, й із позаземними цивілізаціями.



Рис. 5.7. Космічна станція у вигляді велетенського кільця, ідею якої запропонував К. Ціолковський. Обертання станції навколо осі створить штучне тяжіння



Рис. 5.8. Старт української ракети «Зеніт» з космодрому в Тихому океані

**Висновки**

Космонавтика як наука про польоти в міжпланетний простір бурхливо розвивається і займає особливе місце в методах вивчення небесних тіл та космічного середовища. Крім того в наш час космонавтика успішно використовується в засобах зв'язку (мобільні телефони, радіо, телебачення, Інтернет), у навігації, геології, метеорології та багатьох інших галузях діяльності людини.

**Тести**

- З першою космічною швидкістю може летіти космічний корабель, що обертається навколо Землі по коловій орбіті на такій висоті над поверхнею:
А. 0 км. **Б.** 100 км. **В.** 200 км. **Г.** 1000 км. **Д.** 10000 км.
- Ракета стартує з поверхні Землі з другою космічною швидкістю. Куди вона долетить?
А. До Місяця. **Б.** До Сонця. **В.** Стане супутником Сонця. **Г.** Стане супутником Марса. **Д.** Полетить до зір.
- Космічний корабель обертається навколо Землі по еліптичній орбіті. Як називається точка орбіти, де космонавти перебувають найближче до Землі?
А. Перигей. **Б.** Перигелій. **В.** Апогей. **Г.** Афелій. **Д.** Парсек.
- Чому жодний супутник не може обертатися навколо Землі по коловій орбіті з першою космічною швидкістю?
- Чим відрізняється перигей від перигелію?
- Чому під час старту космічного корабля виникає перевантаження?
- Чи виконується у невагомості закон Архімеда?
- Космічний корабель обертається навколо Землі по коловій орбіті на висоті 200 км. Визначте лінійну швидкість корабля.
- Чи може космічний корабель зробити за добу 24 оберти навколо Землі?

**Диспути на запропоновані теми**

- Що ви можете запропонувати для майбутніх космічних програм, у яких могли б брати участь українські вчені?

**Завдання для спостережень**

- Увечері відшукайте на небі супутник або міжнародну космічну станцію, які освітлюються Сонцем і з поверхні Землі мають вигляд яскравих точок. Нарисуйте їхній шлях серед сузір'їв протягом 10 хвилин. Чим відрізняється політ супутника від руху планет?

**Ключові поняття і терміни:**

Апогей, геостационарний супутник, друга космічна швидкість, колова швидкість, міжпланетна космічна станція, перигей, перша космічна швидкість, штучний супутник Землі.

§ 6. Методи астрофізичних досліджень

Вивчивши цей параграф, ми:

- дізнаємося, як астрономи вивчають природу космічних тіл;
- довідаємося про сучасні телескопи, за допомогою яких можна подорожувати не тільки у просторі, але й у часі;
- побачимо, як можна зареєструвати невидимі для ока промені.

1

Що вивчає астрофізика?

Між фізикою та астрофізикою є багато спільного — ці науки вивчають закони світу, у якому ми живемо. Але між ними існує одна суттєва різниця — фізики мають можливість перевірити свої теоретичні розрахунки за допомогою відповідних експериментів, у той час як астрономи в більшості випадків такої можливості не мають, бо вивчають природу далеких космічних об'єктів за їхнім випромінюванням.

Астрофізика вивчає будову космічних тіл, фізичні умови на поверхні й всередині тіл, хімічний склад, джерела енергії тощо

У цьому параграфі ми розглянемо основні методи, за допомогою яких астрономи збирають інформацію про події в далекому космосі. Виявляється, що основним джерелом такої інформації є електромагнітні хвилі та елементарні частинки, які випромінюють космічні тіла, а також гравітаційні й електромагнітні поля, за допомогою яких ці тіла між собою взаємодіють.

Спостереження за об'єктами Всесвіту здійснюється у спеціальних астрономічних обсерваторіях. У цих дослідженнях астрономи навіть мають певну перевагу перед фізиками, бо можуть спостерігати за процесами, які відбувалися мільйони або мільярди років тому.



Для допитливих

Астрофізичні експерименти в космосі все ж таки відбуваються — їх здійснює сама природа, а астрономи спостерігають за тими процесами, які відбуваються в далеких світах, і аналізують одержані результати. Ми спостерігаємо своєрідні явища в часі та бачимо таке далеке минуле Всесвіту, коли ще не існувала не тільки наша цивілізація, але навіть не було Сонячної системи. Тобто астрофізичні методи вивчення далекого космосу фактично не відрізняються від експериментів, які проводять фізики на поверхні Землі. До того ж за допомогою АМС астрономи проводять справжні фізичні експерименти як на поверхні інших космічних тіл, так і в міжпланетному просторі.

2 Чорне тіло

Як відомо з курсу фізики, атоми можуть випромінювати або поглинати енергію електромагнітних хвиль різної частоти — від цього залежать яскравість і колір того чи іншого тіла. Для розрахунків інтенсивності випромінювання вводиться поняття так званого *чорного тіла*, яке може ідеально поглинати й випромінювати електромагнітні коливання в діапазоні всіх довжин хвиль (неперервний спектр).

Зорі випромінюють електромагнітні хвилі різної довжини λ , але в залежності від температури поверхні найбільше енергії припадає на певну частину спектра λ_{max} (рис. 6.1). Цим пояснюються різноманітні кольори зір — від червоного до синього (див. §13). Використовуючи закони випромінювання чорного тіла, які відкрили фізики на Землі, астрономи вимірюють температуру далеких космічних світил (рис. 6.2). При температурі $T = 300 \text{ K}$ чорне тіло випромінює енергію переважно в інфрачервоній частині спектра, яка не сприймається неозброєним оком. При низьких температурах таке тіло у стані термодинамічної рівноваги має справді чорний колір.

Чорне тіло поглинає всю енергію, яка падає на його поверхню, і всю енергію перевищує в навколишній простір, але в іншій частині спектра

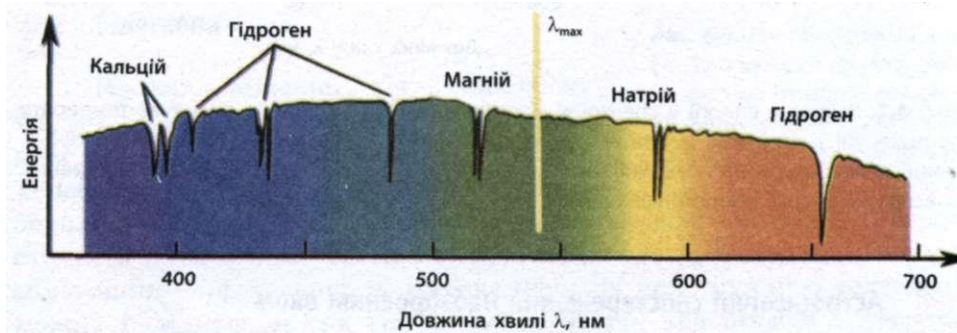


Рис. 6.1. Спектр випромінювання зорі з температурою $T=5800 \text{ K}$. Западини на графіку відповідають темним лініям поглинання, які утворюють окремі хімічні елементи



Для допитливих

У природі абсолютно чорних тіл не існує, навіть чорна сажа поглинає не більше ніж 99% електромагнітних хвиль. З іншого боку, якби абсолютно чорне тіло тільки поглинало електромагнітні хвилі, то з часом температура такого тіла стала б нескінченно великою. Тому чорне тіло випромінює енергію, причому поглинання і випромінювання можуть відбуватися в різних частотах. Однак при деякій температурі встановлюється рівновага між випромінюваною та поглиненою енергіями. Залежно від рівноважної температури колір абсолютно чорного тіла не обов'язково буде чорним — наприклад, сажа в печі при високій температурі має червоний або навіть білий колір.

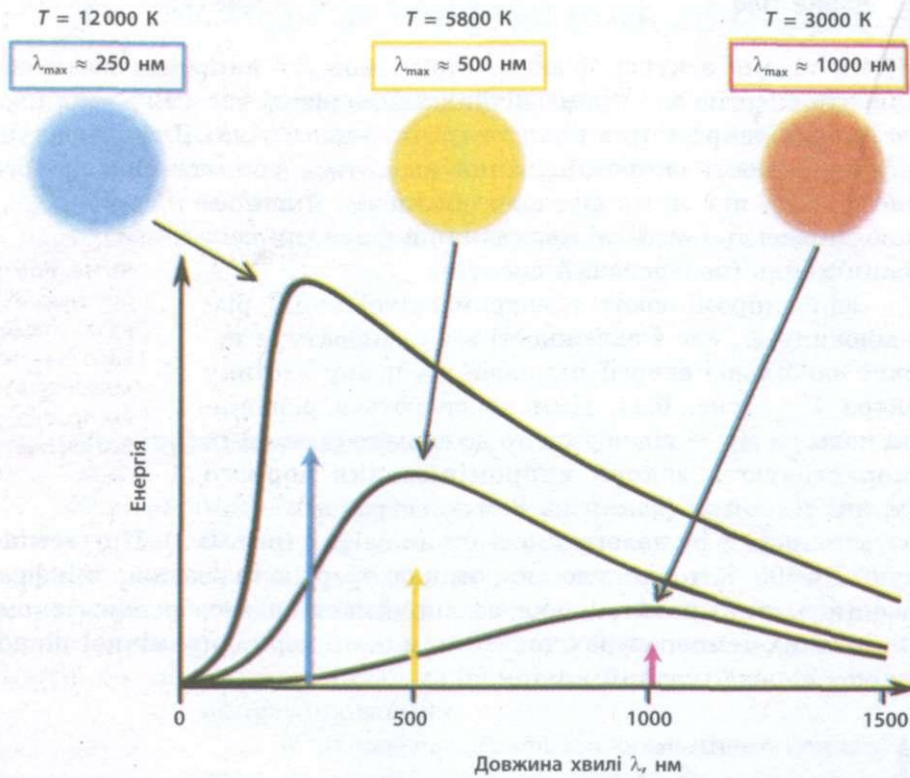


Рис. 6.2. Розподіл енергії у спектрі випромінювання зір. Колір зір визначає температуру поверхні T : сині зорі мають температуру 12 000 К, а червоні — 3000 К. При збільшенні температури на поверхні зір зменшується довжина хвилі λ_{max} , яка відповідає максимуму енергії випромінювання

3 **Астрономічні спостереження неозброєним оком**

Око людини є унікальним органом чуття, за допомогою якого ми отримуємо понад 90% інформації про навколишній світ. Оптичні характеристики ока визначаються роздільною здатністю та чутливістю.

Роздільна здатність ока, або гострота зору, — це спроможність розрізняти об'єкти певних кутових розмірів. Установлено, що роздільна здатність ока людини не перевищує Γ (одна мінута дуги; рис. 6.3). Це означає, що ми можемо бачити окремо дві зорі (або дві літери в тексті книги), якщо кут між ними $\alpha > \Gamma$, а якщо $\alpha < \Gamma$, то ці зорі зливаються в одне світило, тому розрізнити їх неможливо.

Ми розрізняємо диски Місяця та Сонця, бо кут, під яким видно діаметр цих світил (кутовий діаметр), дорівнює близько $30'$, у той час як кутові діаметри планет і зір менші за $1'$, тому ці світила

неозброєним оком видно як яскраві точки. З планети Нептун диск Сонця для космонавтів буде мати вигляд яскравої зорі.

Чутливість ока визначається порогом сприйняття окремих квантів світла. Найбільшу чутливість око має у жовто-зеленій частині спектра, і ми можемо реагувати на 7–10 квантів, які потрапляють на сітківку за 0,2–0,3 с. В астрономії чутливість ока можна визначити за допомогою так званих видимих зоряних величин, які характеризують яскравість небесних світил (див. § 13).



Для допитливих

Чутливість ока також залежить від діаметра зіниці — у темряві зіниці розширюються, а вдень звужуються. Перед астрономічними спостереженнями треба 5 хв посидіти в темряві, тоді чутливість ока збільшиться.

4

Телескопи

На жаль, більшість космічних об'єктів ми не можемо спостерігати неозброєним оком, бо його можливості обмежені. Телескопи (грец. *tele* — *далеко*, *skopos* — *бачити*) дозволяють нам побачити далекі небесні світила або зареєструвати їх за допомогою інших приймачів електромагнітного випромінювання — фотоапарата, відеокамери. За конструкцією телескопи можна поділити на три групи: *рефрактори*, або лінзові телескопи (рис. 6.4) (лат. *refractus* — *заломлення*); *рефлектори*, або дзеркальні телескопи (рис. 6.5), (лат. *reflectio* — *відбиваю*) та *дзеркально-лінзові* телескопи.

Припустимо, що на нескінченності розташовується небесне світило, яке для неозброєного ока видно під кутом α . Двоопукла лінза, яку називають об'єктивом, буде зображення світила у фокальній площині на відстані F від об'єктива (рис. 6.4). У фокальній площині встановлюють фотопластину, відеокамеру або інший приймач зображення. Для візуальних спостережень використовують короткофокусну лінзу — лупу, яку називають окуляром.

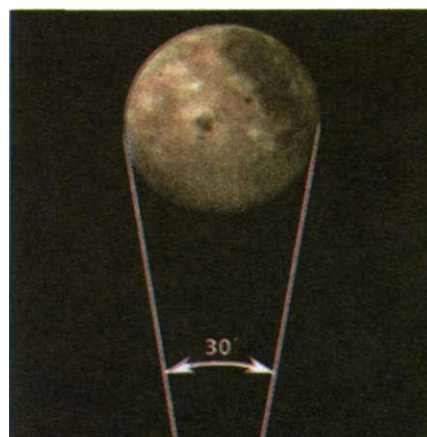


Рис. 6.3. Ми розрізняємо диск Місяця, бо його кутовий діаметр $30'$, у той час як кратери неозброєним оком не видно, бо їх кутовий діаметр менший за f . Гострота зору визначається кутом $\alpha > T$

Рефрактор — телескоп, у якому для створення зображення використовують лінзи

Рефлектор — телескоп, у якому для створення зображення використовують дзеркало

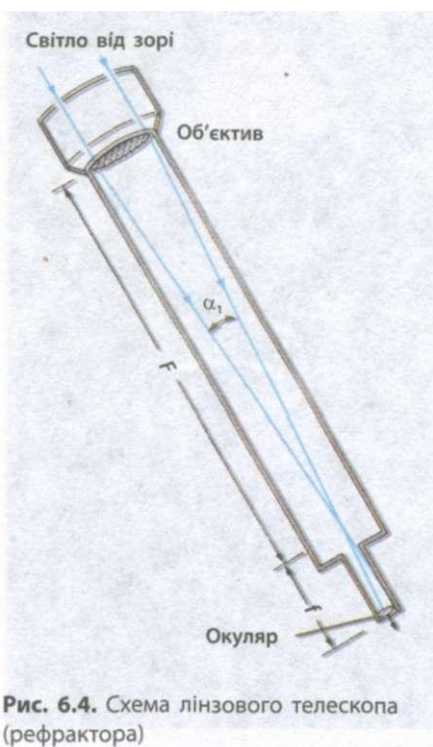


Рис. 6.4. Схема лінзового телескопа (рефрактора)

Збільшення телескопа визначається так:

$$n = \frac{\alpha_2}{\alpha_1} = \frac{F}{f}, \quad (6.1)$$

де α_2 — кут зору на виході окуляра; α_1 — кут зору, під яким світило видно неозброєним оком; F, f — фокусні відстані відповідно об'єктива й окуляра.

Роздільна здатність телескопа залежить від діаметра об'єктива, тому при однаковому збільшенні більш чітке зображення дає телескоп із більшим діаметром об'єктива.

Крім того телескоп збільшує видиму яскравість світил, яка буде у стільки разів більша за ту, що сприймається неозброєним оком, у скільки площа об'єктива більша від площі зіниці ока. Запам'ятайте, що в телескоп не можна дивитись на Сонце, бо його яскравість буде такою великою, що ви можете втратити зір.



Для допитливих

Для визначення різних фізичних характеристик космічних тіл (руху, температури, хімічного складу та ін.) необхідно проводити спектральні спостереження, тобто треба вимірювати, як розподіляється випромінювання енергії в різних ділянках спектра. Для цього створено ряд додаткових пристроїв і приладів (спектрографи, телевізійні камери та ін.), які сукупно з телескопом дають можливість окремо виділяти й досліджувати випромінювання ділянок спектра.

Шкільні телескопи мають об'єктиви з фокусною відстанню 80—100 см, та набір окулярів із фокусними відстанями 1—6 см. Тобто збільшення шкільних телескопів згідно з формулою (6.1) може бути різним (від 15 до 100 разів), залежно від фокусної відстані окуляра, який застосовується під час спостережень. У сучасних астрономічних обсерваторіях є телескопи, які мають об'єктиви з фокусною відстанню більше за 10 м, тому збільшення цих оптичних



Рис. 6.5. Схема дзеркального телескопа (рефлектора)

приладів може перевищувати 1000. Але під час спостережень такі великі збільшення не застосовують, бо неоднорідності земної атмосфери (вітри, забрудненість пилом) дуже погіршують якість зображення.

5 Електронні прилади для реєстрації випромінювання космічних світил

Такі прилади значно збільшують роздільну здатність і чутливість телескопів. До них належать *фотопомножувачі* та *електронно-оптичні перетворювачі*, дія яких ґрунтується на явищі зовнішнього фотоефекту. Наприкінці ХХ ст. для отримання зображення почали застосовувати прилади зарядового зв'язку (ПЗЗ), у яких використовується явище внутрішнього фотоефекту. Вони складаються з дуже маленьких кремнієвих елементів (пікселів), що розташовані на невеликій площі. Матриці ПЗЗ використовують не тільки в астрономії, але й у домашніх телекамерах і фотоапаратах — так звані цифрові системи для отримання зображення (рис. 6.6). До того ж, ПЗЗ більш ефективні, ніж фотоплівки, бо сприймають 75% фотонів, у той час як плівка — лише 5%. Таким чином, ПЗЗ значно збільшують чутливість приймачів електромагнітного випромінювання і дають змогу реєструвати космічні об'єкти в десятки разів слабші, ніж при фотографуванні.

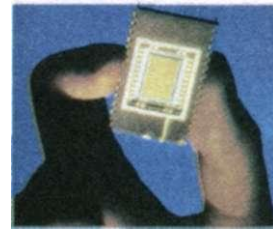


Рис. 6.6. Матриця ПЗЗ

6 Радіотелескопи

Для реєстрації електромагнітного випромінювання в радіодіапазоні (довжина хвилі від 1 мм і більше — рис. 6.7) створені *радіотелескопи*, які приймають радіохвилі за допомогою спеціальних антен і передають їх до приймача. У радіоприймачі космічні сигнали опрацьовуються і реєструються спеціальними приладами.

Існують два типи радіотелескопів — *рефлекторні* та *радіограметри*. Принцип дії рефлекторного радіотелескопа такий самий, як телескопа-рефлектора (див. рис. 6.5), тільки дзеркало для збирання електромагнітних хвиль виготовляється з металу. Часто це дзеркало має форму параболоїда обертання. Чим більший діаметр такої параболічної «тарілки», тим більші роздільна здатність і чутливість радіотелескопа. Найбільший в Україні радіотелескоп РТ-70 має діаметр 70 м (рис. 6.8).

Радіограметри складаються з великої кількості окремих антен, які розташовані на поверхні Землі в певному порядку. Якщо дивитися зверху, то велика кількість таких антен нагадує літеру «Г». Найбільший у світі радіотелескоп такого типу УТР-2 є в Харківській області (рис. 6.9).

§6. МЕТОДИ АСТРОФІЗИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

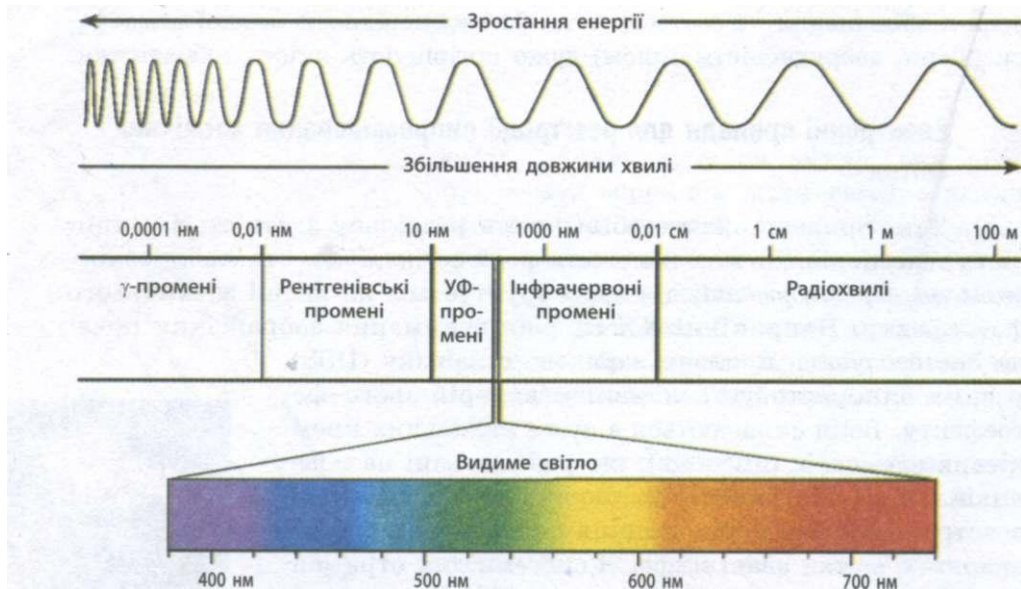


Рис. 6.7. Шкала електромагнітних хвиль



Рис. 6.8. Радіотелескоп РТ-70 розташовується в Криму біля Євпаторії

Рис. 6.9. Найбільший у світі радіотелескоп УТР-2 (Український Т-подібний радіотелескоп) має розміри $1800 \text{ м} \times 900 \text{ м}$.



Для допитливих

Принцип інтерференції електромагнітних хвиль дозволяє об'єднати радіотелескопи, які розташовані на відстані десятків тисяч кілометрів, що збільшує їх роздільну здатність до $0,0001''$ — це в сотні разів перевершує можливість оптичних телескопів.



7 Вивчення Всесвіту за допомогою космічних апаратів

Із початком космічної ери настає новий етап вивчення Всесвіту за допомогою ШСЗ та АМС. Космічні методи мають суттєву перевагу перед наземними спостереженнями, тому що значна частина електромагнітного випромінювання зір і планет затримується в земній атмосфері. З одного боку, це поглинання рятує живі організми від смертельного випромінювання в ультрафіолетовій та рентгеновській частинах спектра, але з іншого — воно обмежує потік інформації від світил. У 1990 р. у США був створений унікальний космічний телескоп Габбла з діаметром дзеркала 2,4 м (рис. 6.10). У наш час у космосі функціонує багато обсерваторій, які реєструють та аналізують випромінювання всіх діапазонів — від радіохвиль до гамма-променів (рис. 6.7).

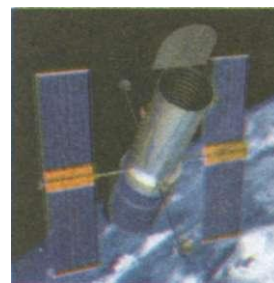


Рис. 6.10. Космічний телескоп Габбла розміщений за межами атмосфери, тому його роздільна здатність у 10 разів, а чутливість у 50 разів перевершують можливість наземних телескопів

Великий внесок у вивчення Всесвіту зробили також українські вчені. За їхньою участю були створені перші КА, які почали досліджувати не тільки навколосемний простір, але й інші планети. Автоматичні міжпланетні станції серії «Луна», «Марс», «Венера» передали на Землю зображення інших планет із такою роздільною здатністю, яка в тисячі разів перевершує можливості наземних телескопів. Людство вперше побачило навіть панорами чужих світів із дивовижними пейзажами. На цих АМС була встановлена апаратура для проведення безпосередніх фізичних, хімічних та біологічних експериментів.

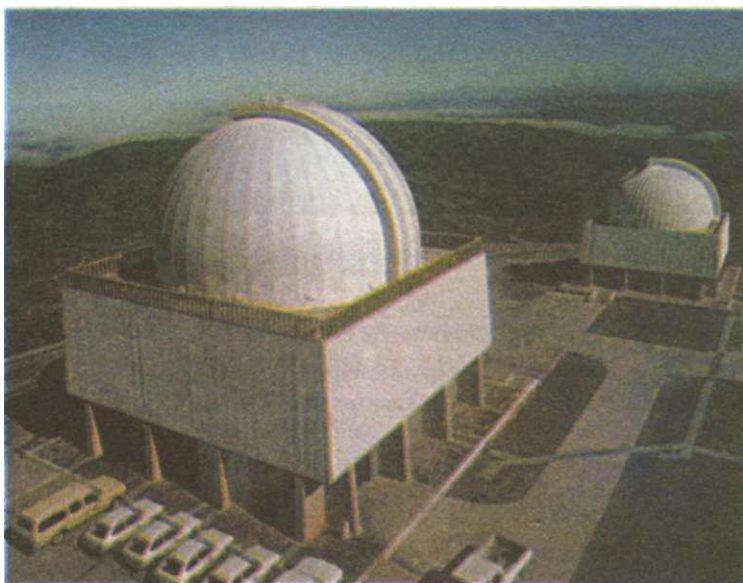


Рис. 6.11. Астрономічна обсерваторія

§ 6. МЕТОДИ АСТРОФІЗИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ



Для допитливих

За часів Київської Русі астрономічні спостереження проводили монахи, які в літописах повідомляли про незвичайні небесні явища — затемнення Сонця та Місяця, появу комет або нових зір. З винайденням телескопа для спостережень за небесними світилами почали будувати спеціальні астрономічні обсерваторії (рис. 6.11). Першими астрономічними обсерваторіями Європи вважають Паризьку у Франції, яку відкрили у 1667 р., і Гринвіцьку в Англії (1675 р.). Зараз астрономічні обсерваторії працюють на всіх материках, і їхня загальна кількість перевершує 400. В Україні працюють 7 астрономічних обсерваторій — у Києві (дві), Криму, Львові, Миколаєві, Одесі, Полтаві — та 2 астрономічні інститути у Харкові.

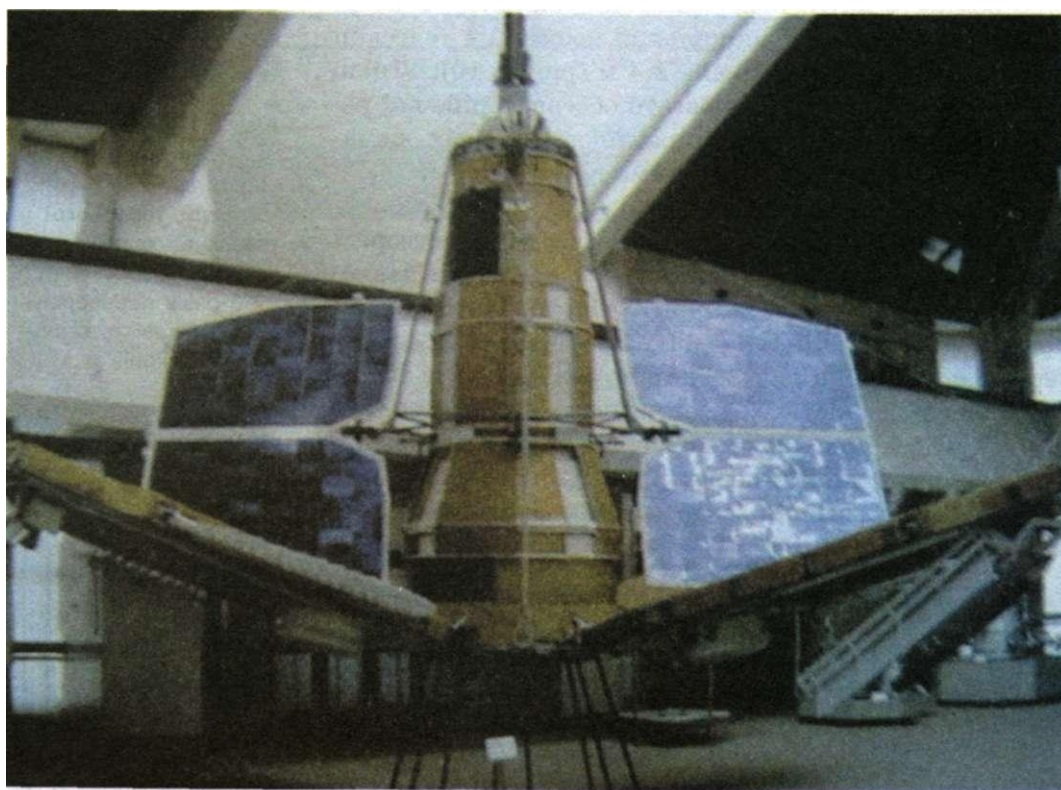


Рис. 6.12. Перший український супутник «Січ-1»



Висновки

Астрономія з оптичної науки перетворилась у всехвильову, бо основним джерелом інформації про Всесвіт є електромагнітні хвилі та елементарні частинки, які випромінюють космічні тіла, а також гравітаційні й електромагнітні поля, за допомогою яких ці тіла між собою взаємодіють. Сучасні телескопи дають можливість отримувати інформацію про далекі світи, і ми навіть спостерігаємо події, що відбувались мільярди років тому. Тобто за допомогою сучасних астрономічних приладів ми можемо мандрувати не тільки у просторі, але й у часі.



Тести

1. Телескоп — це такий оптичний прилад, який:
А. Наближує до нас космічні тіла. **Б.** Збільшує космічні світила. **В.** Збільшує кутовий діаметр світила. **Г.** Наближує нас до планети. **Д.** Приймає радіохвилі.
2. Чому великі астрономічні обсерваторії будують у горах?
А. Щоб наблизитися до планет. **Б.** У горах більша тривалість ночі. **В.** У горах менша хмарність. **Г.** У горах більш прозоре повітря. **Д.** Щоб збільшити світлові перешкоди.
3. Чи може чорне тіло бути білого кольору?
А. Не може. **Б.** Може, якщо пофарбувати його білою фарбою. **В.** Може, якщо температура тіла наближується до абсолютного нуля. **Г.** Може, якщо температура тіла нижча ніж 0°C. **Д.** Може, якщо температура тіла вища ніж 6000 К.
4. У який із цих телескопів можна побачити найбільше зір?
А. У рефлектор із діаметром об'єктива 5 м. **Б.** У рефрактор із діаметром об'єктива 1 м. **В.** У радіотелескоп із діаметром 20 м. **Г.** У телескоп зі збільшенням 1000 і з діаметром об'єктива 3 м. **Д.** У телескоп із діаметром об'єктива 3 м та збільшенням 500.
5. Чим пояснюються різноманітні кольори зір?
6. Чому в телескоп ми бачимо більше зір, ніж неозброєним оком?
7. Чому спостереження у космосі дають більше інформації, ніж наземні телескопи?
8. Чому зорі в телескоп видно як яскраві точки, а планети в той самий телескоп — як диски?
9. На яку найменшу відстань треба відлетіти в космос для того, щоб космонавти неозброєним оком бачили Сонце як яскраву зорю у вигляді точки?
10. Кажуть, що деякі люди мають такий гострий зір, що навіть неозброєним оком розрізняють великі кратери на Місяці. Обчисліть достовірність цих фактів, якщо найбільші кратери на Місяці мають діаметр 200 км, а середня відстань до Місяця дорівнює 380000 км.



Диспути на запропоновані теми

11. Зараз у космосі будується міжнародна космічна станція, на якій Україна буде мати космічний блок. Які астрономічні прилади ви могли б запропонувати для проведення досліджень Всесвіту?



Завдання для спостережень

12. Телескоп-рефрактор можна виготовити за допомогою лінзи для окулярів. Для об'єктива можна використати лінзу з окулярів +1 діоптрія, а як окуляр — об'єктив фотоапарата або іншу лінзу для окулярів +10 діоптрій.



Ключові поняття і терміни:

Неперервний спектр, радіотелескоп, рефлектор, рефрактор, роздільна здатність ока, спектр, спектральні спостереження, телескоп, чорне тіло.

§ 7. Земля і Місяць

Вивчивши цей параграф, ми:

- зрозуміємо, чим відрізняються дві групи планет Сонячної системи;
- збагнемо суть парникового ефекту, який створюють в атмосфері Землі деякі гази;
- дізнаємось про внутрішню будову Землі та чому рухаються материки;
- довідаємось про причини зміни фаз Місяця;
- порівняємо фізичні умови на поверхні Місяця й Землі.

1 Планети земної групи та планети-гіганти

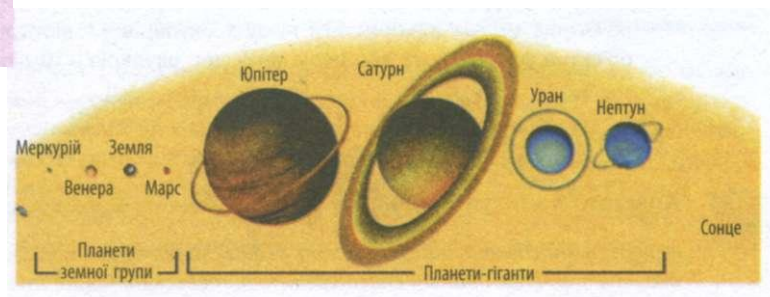
Планети Сонячної системи за розмірами і будовою діляться на дві групи — *планети земної групи* (Меркурій, Венера, Земля, Марс) та *планети-гіганти* (Юпітер, Сатурн, Уран, Нептун). Суттєва різниця між цими групами планет полягає в таких факторах (див. таблицю):

- планети земної групи мають тверду поверхню, бо складаються переважно з важких хімічних елементів;
- планети-гіганти утворилися здебільше з Гідрогену та Гелію, тому їхня середня густина невелика, а між атмосферою і поверхнею немає чіткої межі.

Земля ⊕	
Радіус	6378 км
Маса	$6 \cdot 10^{24}$ кг
Густина	5,5 г/см ³
Атмосфера:	N ₂ , O ₂ , H ₂ O
Тиск біля поверхні	1 атм
Велика піввісь орбіти	1 а. о. ≈ 150 · 10 ⁶ км
Рік	365 дів 5 год 48 хв 46 с
Температура поверхні:	
середня	+16 °С
максимальна	+60 °С
мінімальна	-88 °С

Основні параметри	Планети	
	Земна група	Гіганти
Середня густина	≈ 5 г/см ³	≈ 1 г/см ³
Хімічний склад	Fe, Si, Al	H ₂ , He
Температура під хмарами	200—700 К	≈ 2000 К
Кількість супутників	3	163

Рис. 7.1. Порівняльні розміри планет земної групи та планет-гігантів



2 Земля — найчарівніша планета Сонячної системи

Земля є найчарівнішою планетою Сонячної системи (рис. 7.2), що рухається по своїй орбіті навколо Сонця із середньою швидкістю — близько 30 км/с. Крім того, обертаючись навколо власної осі, вона робить один оберт за добу. Земля оточена атмосферою, яка простягається в космос більше ніж на 1000 км, що створює на її поверхні сприятливі умови для існування життя (температуру, склад атмосфери, величезну кількість води).

Хімічний склад атмосфери (рис. 7.3) є неоднорідним. Найбільшою складовою атмосфери біля поверхні Землі (за об'ємом 78%) є азот N_2 , який відіграє важливу роль у житті рослин. Кисень O_2 є необхідним елементом для дихання всіх живих істот і складає 21% об'єму атмосфери.

Водяна пара H_2O в атмосфері затримує інфрачервоне випромінювання Землі та створює *парниковий ефект*, унаслідок чого температура поверхні підвищується. Середня температура поверхні Землі $+15,8^\circ C$, а якби не було в атмосфері водяної пари, то на нашій планеті настав би льодовиковий період — температура навіть на екваторі могла б знизитися до $-25^\circ C$.

Погода (вітри, циклони та антициклони) формується в нижніх шарах атмосфери, яка називається *тропосферою*, де передача енергії відбувається не тільки випромінюванням, а й за допомогою *конвекції*.

Океани і моря на поверхні Землі акумулюють величезну кількість сонячної енергії, бо вода має одну з найбільших у природі питому теплоємність, тому на материках, як правило, протягом доби і навіть протягом року не спостерігається різкого перепаду температури.



Для допитливих

Якби кількість кисню в атмосфері була на кілька відсотків більшою, то виникали б постійні пожежі, бо мокрі дерева горіли б як сірники, а якби кисню в атмосфері було трохи менше ніж 18%, то неможливо було б запалити сірника.

Шар озону O_3 (алотропна видозміна кисню) захищає живі організми від смертельного ультрафіолетового випромінювання Сонця. Ультрафіолетові промені знищують мікроорганізми та рослини, викликають захворювання у людей. Якби не стало озонового шару в атмосфері, то не було б життя на поверхні Землі.

Магнітне поле Землі створює навколо планети на висоті понад 500 км *пояси радіації*. Елементарні частинки, які рухаються



Рис. 7.2. Фотографія Землі з космосу

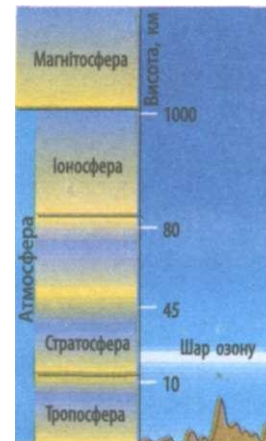


Рис. 7.3. Будова земної атмосфери. Повітря нагрівається від поверхні Землі, тому з висотою температура в тропосфері знижується

у міжпланетному просторі з величезною швидкістю і мають електричний заряд, взаємодіють із магнітним полем Землі й тому не долітають до атмосфери. Таким чином, магнітне поле захищає життя на Землі від смертельних потоків космічних частинок.

3 Екологічна система Землі

Екологічна система Землі перебуває у стані своєрідної стійкої рівноваги, тому невеликі збурення в атмосфері або зміни сонячної радіації суттєво не впливають на загальний стан цієї системи.

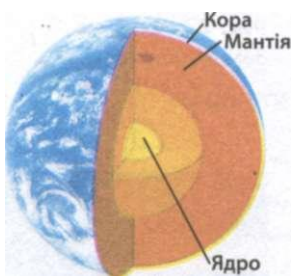


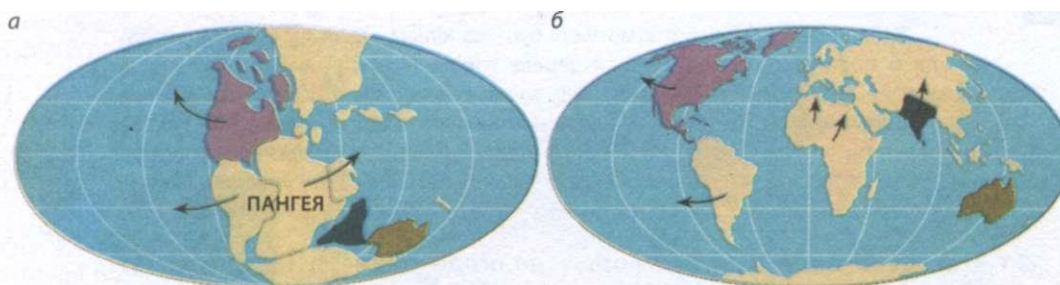
Рис. 7.4. Внутрішня будова Землі

Але геологічні дослідження показують, що в минулому відбувалися *екологічні катастрофи*, внаслідок яких різко знижувалася температура та наставали *льодовикові періоди*. Для прогнозування майбутнього нам необхідно знати причини, що призводять до таких катастрофічних процесів. Причиною раптового зниження температури на поверхні Землі можуть бути зовнішні фактори, наприклад *падіння астероїда* (див. §11), геологічні процеси — *виверження вулканів або рух материків*, та *антропогенні фактори*.

Рис. 7.5. Рух материків.
а — вважають, ідо 200 млн років тому існували єдиний материк — Пангея та один світовий океан;
б — унаслідок конвекції, що відбувається у мантії, земна кора розділилась на окремі тектонічні плити, які повільно рухаються

Будова Землі. Геологічні дослідження показали, що температура всередині Землі кожні 34 м зростає на 1°C і у свердловинах на глибині 10 км досягає +300°C. Центральна частина Землі утворює металеве *ядро* (рис. 7.4). Зовнішня частина ядра перебуває в розплавленому стані при температурі 7000°C, а внутрішня — тверда. Вище розташовується силікатна оболонка, або *мантія*. На мантії «плаває» *кора*, товщина якої неоднакова — від 5—7 км під океанами, до кількох десятків кілометрів під гірськими районами континентів. Унаслідок конвекції в мантії земна кора розділилась на окремі плити, які повільно зміщуються (рис. 7.5).

Екологічну катастрофу може створити навіть техногенна діяльність людини, внаслідок якої змінюється хімічний склад атмосфери. Наприклад, спалю-



вання великої кількості органічного палива призводить до зменшення кисню в атмосфері та збільшення вуглекислого газу, який створює парниковий ефект. Протягом ХХ ст. середня температура Землі підвищилась на 0,8 °С, що призвело до інтенсивного танення льодовиків і підвищення рівня океану, внаслідок чого затоплені великі площі родючих низин. Людство зможе уникнути екологічної катастрофи, якщо буде ширше використовувати альтернативні джерела енергії, що не забруднюють навколишнє середовище, — енергію земних надр, вітрову та сонячну енергію (див. §12.7).



Для допитливих

Парниковий ефект створює плівка в парнику, якою накривають грядку. Удень сонячне світло проходить крізь плівку і нагріває землю. Якщо ґрунт темного кольору, то у зворотному напрямку випромінюється енергія в інфрачервоній частині спектра, яка затримується плівкою. В атмосфері Землі парниковий ефект створюють вуглекислий газ і водяна пара.

4

Місяць

Місяць є природним супутником Землі, на якому атмосфера відсутня. Фази Місяця, тобто зміна його зовнішнього вигляду, настають унаслідок того, що Місяць світиться відбитими сонячними променями. Обертаючись навколо нашої планети, він займає різні положення відносно Землі та Сонця, тому ми бачимо різні частини його денної півкулі. Щоб зрозуміти, чому ми бачимо фази Місяця, почнемо з *нового Місяця*, який із поверхні Землі майже ніколи не видний, бо до нас повернена його нічна півкуля (рис. 7.6). Місяць у цій фазі можна побачити тільки під час сонячних затемнень, коли темний диск Місяця видно на тлі яскравого Сонця (рис. 7.7).

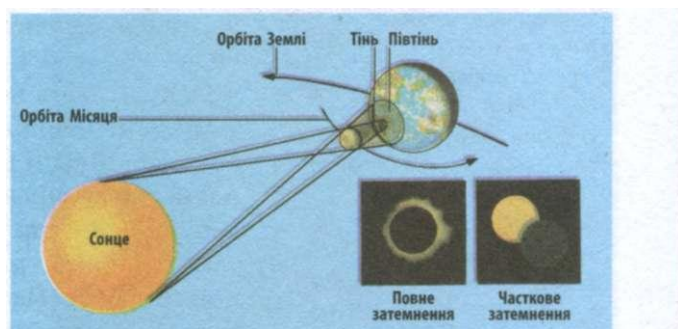
Рис. 7.6. Зміна фаз Місяця відбувається внаслідок того, що до Землі в різний час повернені різні частини денної та нічної півкуль Місяця



Синодичний період обертання Місяця (29,5 земної доби) — проміжок часу, через який відбувається зміна фаз

Сидеричний період обертання Місяця (27,3 земної доби) — час обертання Місяця навколо Землі відносно зір

Рис. 7.7. Затемнення Сонця



Перша чверть настає через тиждень, коли до Землі повернені половина денного та половина нічного боку Місяця. *Повня* настає у той момент, коли Місяць розташовується з протилежного боку від Сонця. *Остання чверть*, або *старий Місяць*, спостерігається у південно-східній частині небосхилу перед світанком.



Для допитливих

З усіх астрономічних явищ, напевне, найбільшу увагу людей привертає *затемнення Сонця*, яке відбувається у той момент, коли тінь від Місяця досягає поверхні Землі. Хоча Місяць через кожні 29,5 доби перебуває між Сонцем і Землею (фаза — новий Місяць), але затемнення відбуваються набагато рідше, бо площина орбіти Місяця нахилена до екліптики під кутом 5° . На орбіті існують дві точки, у яких Місяць перетинає площину екліптики — вони називаються *вузлами місячної орбіти*. Затемнення Місяця або Сонця можуть відбутися тільки в тому випадку, коли Місяць перебуває поблизу вузла орбіти. Вузли місячної орбіти зміщуються у космічному просторі, тому затемнення відбуваються в різні пори року. Період повторення затемнень, або *сарос*, знали ще єгипетські жерці 4000 років тому. Сучасні обчислення дають таке значення саросу: $\Gamma_{\text{сар}} = 6585,33$ доби = 18 років 11 днів 8 год. Протягом одного саросу в різних місцях на поверхні Землі відбувається 43 затемнення Сонця та 25—29 затемнень Місяця, причому сонячні й місячні затемнення завжди відбуваються парами з інтервалом 2 тижні: якщо в одному вузлі місячної орбіти відбувається затемнення Сонця, то через 2 тижні в іншому вузлі відбувається затемнення Місяця.

5 Фізичні умови на Місяці

Не дивлячись на те, що Місяць розміщений майже на такій самій відстані від Сонця, як Земля, і одиниця його поверхні отримує таку ж саму кількість енергії, що й одиниця поверхні Землі, фізичні умови на цих космічних тілах суттєво відрізняються. Головна причина таких відмін пов'язана з тим, що сила тяжіння на Місяці менша

від земної у 6 разів, тому він не може втримати біля поверхні окремі молекули газів. Протягом мільярдів років погода на Місяці однакова: 2 тижні світить Сонце і поверхня нагрівається до температури $+130^\circ\text{C}$, а потім після двотижневої ночі поверхня охолоджується і температура на світанку падає до -160°C . За високої денної температури молекули газів покидають сферу тяжіння Місяця, тому там неможливе існування густої атмосфери.

На Місяці навіть удень темне небо, як у міжпланетному просторі, там не буває ні вітрів, ні дощів. Зміни пір року не відбувається, бо вісь обертання Місяця майже перпендикулярна до площини орбіти. На поверхні Місяця навіть неозброєним оком видно темніші ділянки, що були названі

Місяць ☾	
Радіус	$0,25 R_{\oplus}$
Маса	$1/81 M_{\oplus}$
Густина	$3,3 \text{ г/см}^3$
Прискорення вільного падіння	$1/6g_{\oplus}$
Велика піввісь орбіти	$3,8 \cdot 10^6 \text{ км}$
Періоди обертання:	
сидеричний	27,3 з. діб
синодичний	29,5 з. діб
Сонячна доба	29,5 з. діб
Температура, $^\circ\text{C}$:	
вдень	+130
вночі	-160

морями (рис. 7.8), та світліші, які астрономи назвали *материками*.

У морях немає ні краплі вологи, бо у вакуумі вода миттєво закипає і випаровується або замерзає. Вода у твердому стані могла зберегтися під поверхнею на глибині кількох десятків метрів, де протягом доби температура не змінюється і дорівнює -30°C .

Під час спостережень у телескоп видно, що на світлих материках переважають *кратери* — круглі гори діаметром до кількох сотень кілометрів, які мають вали заввишки кілька кілометрів (рис. 7.9).

Більшість кратерів мають метеоритне походження, хоча деякі з них могли утворитися під час виверження вулканів, з яких витікала розплавлена лава та заповнювала більш низькі ділянки, — так виникли моря. Виверження вулканів припинилося дуже давно, бо вік найстаріших твердих скель на материках — 4,4 млрд років, у той час як лава в морях застигла близько 3 млрд років тому.



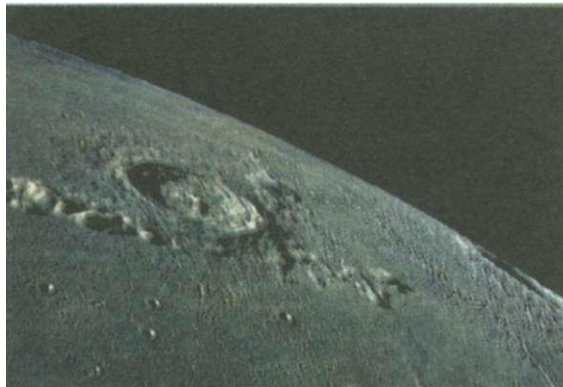
Для допитливих

Падіння метеоритів є основним фактором, який змінює зовнішній вигляд поверхні Місяця і призводить до своєрідної ерозії місячного ґрунту. Наприклад, метеорит із масою 1 кг, який летить зі швидкістю 10 км/с, має таку кінетичну енергію, що при зіткненні з поверхнею Місяця може утворити кратер із діаметром 1 м і розкидати на кілька десятків метрів камінці та пил. На Місяць постійно падають тисячі метеоритів різної маси (див. §11), які безупинно змінюють зовнішній вигляд його поверхні. Правда, великі кратери з діаметром кілька сотень кілометрів утворилися дуже давно, ще 4 млрд років тому, коли падало більше метеоритів. Протягом мільярдів років космічні «бомбардування» так роздробили верхній шар місячного ґрунту, що він перетворився на «пил».

Рис. 7.8. Моря на Місяці утворилися після виверження вулканів. Вони мають темніший колір, бо за хімічним складом там більше заліза, а на світліших ділянках більше алюмінію



Рис. 7.9. Кратери на Місяці зараз утворюються після падіння метеоритів, хоча 3 млрд років тому там діяли вулкани



SiO ₂	—	42
Al ₂ O ₃	—	20
CaO	—	19
MgO	—	12
FeO	—	6

6 Дослідження Місяця

Дослідження Місяця за допомогою космічних апаратів розпочали в Радянському Союзі ще на початку космічної ери. У 1959 р. АМС серії «Луна» вперше у світі долетіли до Місяця: «Луна-1» стала першою штучною планетою Сонячної системи, «Луна-2» досягла поверхні Місяця, а «Луна-3» сфотографувала зворотний бік Місяця і передала його телевізійне зображення на Землю. У лютому 1966 р. «Луна-9» здійснила м'яку посадку в Океані Бур і вперше у світі передала телевізійний «репортаж» із поверхні іншого світу. Ми побачили, що справді поверхня Місяця вкрита пилом, але міцність ґрунту достатня для того, щоб утримати станцію на поверхні. Потім Місяць досліджували АМС «Луноход-1, 2» (рис. 7.11), які рухались по поверхні, та АМС «Луна-20, 24», які в автоматичному режимі вперше доставили на Землю зразки місячного ґрунту.

Головні етапи космічних досліджень Місяця

Рік	Апарат	Країна
1959	Луна-2	СРСР
1959	Луна-3	СРСР
1966	Луна-9	СРСР
1969	Аполлон-11	США
1970	Луноход-1	СРСР

21 липня 1969 р. на поверхню Місяця здійснив посадку пілотований космічний корабель «Аполлон-11» (США), і астронавт Нейл Армстронг зробив перший крок по поверхні іншого світу — так почався новий етап у дослідженні космосу. Усього на поверхні Місяця побувало 12 астронавтів, які привезли на Землю зразки місячного ґрунту. Дослідження показали, що поверхня Місяця майже цілковито вкрита тонким шаром пилу та уламками каміння. Цей шар назвали **реголітом** (з грец.— *роздріблений камінь*). Товщина реголіту змінюється від місця до місця і становить у середньому кілька метрів. Аналіз реголіту приніс несподівані результати: розміри цих частинок — від мікрометрів до метрів; за хімічним складом мікрочастинки наполовину складаються з *оксидів силіцію*, і є фактично маленькими скляними кульками, що утворились після падіння мікрометеоритів (рис. 7.12).

Рис. 7.10. Зображення зворотного боку Місяця, яке було створене на основі фотографій АМС «Луна-3». Десятки кратерів на Місяці назвали на честь українських астрономів





Для майбутніх космонавтів

Чи зможе людство колись використати Місяць як базу для космічних поселень? Якщо врахувати витрати на космічні польоти, то 1 кг місячного ґрунту, який доставили астронавти на Землю, оцінюється у стільки ж, скільки коштує 1 т золота, яке добувають на золотих копальнях на Землі. Але головна мета наукових досліджень полягає в тому, щоб на Місяці створити базу для вивчення більш далеких планет. Хоча вага космонавтів у 6 разів менша, ніж на Землі, але ходити по поверхні Місяця у скафандрі не досить зручно, бо сила тертя теж менша. Житлові приміщення можна побудувати під поверхнею, де на глибині кількох метрів удень і вночі зберігається стала температура, а джерелом енергії слугуватимуть сонячні електростанції. Великі телескопи на поверхні Місяця дозволять отримувати набагато більше інформації про далекі світи, бо там атмосфера відсутня і не впливатиме на якість зображення.

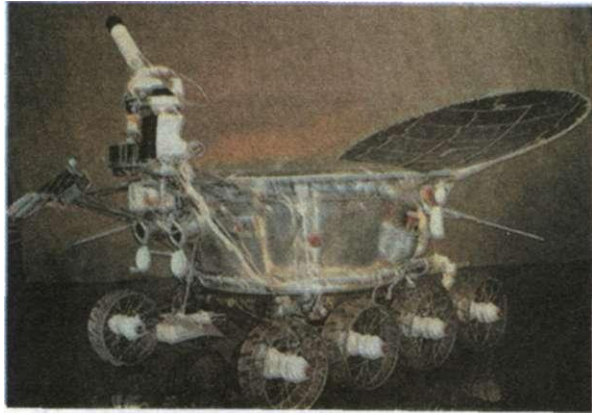


Рис. 7.11. «Луноход-1»



Рис. 7.12. Типовий пейзаж на Місяці. На поверхні переважають темно-сірі кольори ґрунту, який припорошений шаром реголіту, що утворився після падіння мікрометеоритів



Висновки

Одиниці поверхні на Землі й Місяці отримують від Сонця майже однакову кількість енергії, але фізичні умови на їхніх поверхнях суттєво відрізняються. Головна причина такої відмінності клімату — відсутність атмосфери на Місяці. Повітря на Землі створює захисну ковдру, яка підвищує температуру на нашій планеті та оберігає життя від смертельного космічного випромінювання. Місяць — це мертвий світ, у якому відсутнє життя. У майбутньому науковці бази можна створити під поверхнею Місяця.



Тести

1. Температура в надрах Землі з глибиною:
 - А.** Зменшується, бо Сонце нагріває тільки поверхню. **Б.** Зменшується, бо під поверхнею розташований шар вічної мерзлоти. **В.** Збільшується, бо в центрі Землі протікають хімічні реакції. **Г.** Збільшується, бо в надрах відбувається радіоактивний розпад ядер важких хімічних елементів. **Д.** Залишається сталою.
2. Тропосфера — це нижній шар земної атмосфери, де температура з висотою:
 - А.** Збільшується, бо верхні шари атмосфери розташовані ближче до Сонця. **Б.** Збільшується, бо у верхніх шарах атмосфери немає хмар. **В.** Зменшується, бо атмосфера нагрівається від Землі. **Г.** Зменшується, бо у верхніх шарах атмосфери менше кисню. **Д.** Залишається сталою.
3. Сьогодні на Землі спостерігається затемнення Місяця. Що побачать у цей час на Місяці космонавти?
 - А.** Схід Сонця. **Б.** Кульмінацію Сонця. **В.** Затемнення Сонця. **Г.** Затемнення Місяця. **Д.** Захід Сонця.
4. Повний Місяць розміщується на горизонті. У який час доби можна спостерігати таке явище в Україні?
 - А.** Вранці. **Б.** Вдень. **В.** Ввечері. **Г.** Опівночі. **Д.** Ніколи.
5. Якими з цих приладів космонавти можуть користуватися на поверхні Місяця?
 - А.** Компас. **Б.** Телескоп. **В.** Радіоприймач. **Г.** Телевізор. **Д.** Барометр.
6. До якої групи планет належить Земля?
7. Чому на материках протягом року не спостерігається різкого перепаду температур?
8. Як змінюється з висотою температура в тропосфері?
9. Сьогодні Місяць спостерігався у першій чверті. Чи буде завтра Місяць світити опівночі?
10. Чому вода на поверхні Місяця не може існувати в рідкому стані?
11. Чому з поверхні Землі ми бачимо тільки одну півкулю Місяця?
12. За допомогою *рухомої карти зоряного неба* визначте, на тлі якого сузір'я спостерігався Місяць у день вашого народження поточного року? Коли він сховався і заходив у цей день?



Диспути на запропоновані теми

13. Що ви могли б запропонувати для освоєння Місяця в майбутньому?



Завдання для спостережень

14. Виміряйте кут між напрямком на Сонце та Місяць і визначте його фазу. Перша чверть настане, коли цей кут дорівнюватиме 90°, повня — 180°.



Ключові поняття і терміни:

Екологічна катастрофа, затемнення Місяця, затемнення Сонця, кратер, льодовиковий період, парниковий ефект, реголіт, сидеричний місяць, синодичний місяць, тропосфера, фази Місяця.